

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:**  
**DESARROLLO DE UNA RED IOT CON TECNOLOGÍA LORA PARA**  
**GESTIÓN DE INVERNADEROS**

**AUTORES:**  
**BRYAN LEONEL CEVALLOS GARCÍA**  
**SANTIAGO WLADIMIR RUBIO ECHEVERRÍA**

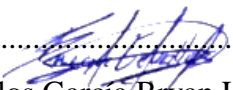
**TUTOR:**  
**VERÓNICA EMMA SORIA MALDONADO**


**Quito, junio 2021**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros BRYAN LEONEL CEVALLOS GARCÍA y SANTIAGO WLADIMIR RUBIO ECHEVERRÍA, con documentos de identificación N° 1722822333 y N° 1722363544 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DESARROLLO DE UNA RED IOT CON TECNOLOGÍA LORA PARA GESTIÓN DE INVERNADEROS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

  
.....  
Cevallos García Bryan Leonel  
Cédula: 1722822333

  
.....  
Rubio Echeverría Santiago Wladimir  
Cédula: 1722363544

Quito, junio del 2021

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, DESARROLLO DE UNA RED IOT CON TECNOLOGÍA LORA PARA GESTIÓN DE INVERNADEROS, realizado por Bryan Leonel Cevallos García y Santiago Wladimir Rubio Echeverría, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, junio del 2021



.....  
Verónica Emma Soria Maldonado

Cédula:1715185961

## **DEDICATORIA**

Dedico este Proyecto de Titulación con todo mi cariño, a mi padre Franklin Cevallos y a mi madre Silvana García por ese apoyo incondicional, ejemplo, amor y por todo su trabajo y sacrificio para que culmine mi formación académica. A mi hermana Almita y a Stephanie Chanalata por todo el cariño y apoyo infinito. A mis abuelitas, Piedad y Blanca, tíos Hugo, Silvio, Javi, primos, amigos, y todas las personas que brindaron su apoyo en todo momento para el desarrollo personal y profesional.

***BRYAN LEONEL CEVALLOS GARCÍA***

Quiero dedicar este trabajo a mi hermana menor Camila, quiero que sepas que yo tampoco sabía hacia donde iba mi vida, y si puedo decirte algo es que sigas adelante e intenta disfrutar los momentos felices y las adversidades, todo eso forma parte de la vida, y está bien tener miedo, está bien tomarse un respiro, pero recuerda a veces es necesario primero dar un salto de fe.

***SANTIAGO WLADIMIR RUBIO ECHEVERRÍA***

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud infinita no es basta para colmar de agradecimientos a mis padres a quien admiro su fortaleza, inteligencia, humildad y corazón. Quienes son y serán los pilares de quien soy, y, a su apoyo y amor en cada momento de mi vida.

A mi Hermana Almita que me aporato con su carisma y escucha en todo momento.

A Stephanie Chanalata quien me apoyo y brindo su cariño, comprensión, en toda instancia, motivándome para no desistir en mi vida personal y académica.

A Santiago Rubio con quien nos hemos apoyado en todo momento dentro y fuera del aspecto académico, participando en concursos, proyectos, dando lo mejor y sin olvidar que pesar de las odiseas, la amistad y las sonrisas no faltaron.

A la Ing. Verónica Soria Msc., quién como tutora y docente supo aportar y dirigir con gran sabiduría y conocimiento al desarrollo en mi instrucción académica y este proyecto, llevándose mi admiración, cariño y respeto.

A mis Amigos Eve P., Antony S., Henry S., Carlos C., Alex A., Chistian J., Israel D., Joselin L., Patricia S., y demás con quienes compartimos aulas, conocimiento y momentos únicos durante nuestra carrera universitaria apoyándonos.

A la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme ser parte y a todos los docentes por sus enseñanzas, guía y conocimientos impartidos a lo largo de mi formación profesional.

***BRYAN LEONEL CEVALLOS GARCÍA***

Quiero agradecer a mis padres por su incondicional apoyo, y por siempre ser mi fuente de motivación, y porque más que ser buenos profesionales, tienen una calidez que deseo también forme parte de mí. Un agradecimiento a mis grandes amigos Leonel y Josselin, que gracias a su paciencia y dedicación logramos salir adelante durante toda la carrera. Un agradecimiento también a todos mis amigos, que son muchos para nombrarlos uno por uno, pero que no tengan duda de que les tengo un gran aprecio y que siempre podrán contar conmigo. Un agradecimiento a la Ing. Verónica Soria por siempre darnos su apoyo y por su ayuda al realizar este trabajo. Un agradecimiento a todos los docentes de la UPS, muchas gracias por su gran trabajo. Y para finalizar un agradecimiento a mí, por esa constancia de querer salir adelante.

***SANTIAGO WLADIMIR RUBIO ECHEVERRÍA***

## INDICE DE CONTENIDOS

|  |      |
|--|------|
| CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....                   | i    |
| DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A..... | ii   |
| DEDICATORIA .....                                  | iii  |
| AGRADECIMIENTO.....                                | v    |
| INDICE DE CONTENIDOS .....                         | vii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                             | x    |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                             | xii  |
| RESUMEN.....                                       | xiii |
| ABSTRACT.....                                      | xiv  |
| INTRODUCCIÓN .....                                 | xv   |
| 1   CAPÍTULO 1.....                                | 1    |
| ANTECEDENTES.....                                  | 1    |
| 1.1   Planteamiento del problema .....             | 1    |
| 1.2   Justificación.....                           | 1    |
| 1.3   Objetivos.....                               | 2    |
| 1.3.1   Objetivo general.....                      | 2    |
| 1.3.2   Objetivos específicos .....                | 2    |
| 2   CAPÍTULO 2.....                                | 3    |
| FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....                        | 3    |
| 2.1   Internet de las cosas (IoT) .....            | 3    |
| 2.2   Low Power Wide Area Networks (LPWAN).....    | 5    |
| 2.3   Long Range (LoRa).....                       | 8    |
| 2.3.1   Formato de trama física.....               | 9    |
| 2.4   LoRaWAN.....                                 | 10   |
| 2.5   Arquitectura de red.....                     | 11   |
| 2.6   Formato de mensaje LoRaWAN .....             | 13   |



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.7   | Seguridad LoRaWAN .....                                  | 14 |
| 3     | CAPÍTULO 3.....  | 16 |
|       | DISEÑO DE LA RED IOT CON LORA .....                      | 16 |
| 3.1   | Introducción.....  | 16 |
| 3.2   | Estructura de la Red.....                                | 16 |
| 3.3   | Nodo Cliente.....  | 17 |
| 3.3.1 | Hardware Nodo Cliente.....                               | 20 |
| 3.3.2 | Diagrama de conexión del circuito nodo cliente.....      | 22 |
| 3.4   | Hardware Gateway LoRa .....                              | 23 |
| 3.5   | Plataforma The Things Network (TTN).....                 | 23 |
| 3.6   | Plataforma Ubidots.....                                  | 25 |
| 3.7   | Topología total de la red del prototipo .....            | 27 |
| 3.8   | Planos del prototipo.....                                | 27 |
| 3.8.1 | Perspectiva Isométrica .....                             | 27 |
| 3.9   | Diseño de radio enlace.....                              | 28 |
| 3.9.1 | Modelo de Okumura-Hata.....                              | 28 |
| 3.9.2 | Potencia de Recepción y margen adicional del enlace..... | 29 |
| 4     | CAPÍTULO 4.....  | 31 |
|       | IMPLEMENTACIÓN DE LA RED IOT CON LORA .....              | 31 |
| 4.1   | Introducción.....  | 31 |
| 4.2   | Funcionamiento del sensor ultrasónico HCSR04.....        | 31 |
| 4.3   | Funcionamiento del sensor DHT11 .....                    | 33 |
| 4.4   | Funcionamiento del sensor FC-28.....                     | 34 |
| 4.5   | Funcionamiento del sensor ACS712 .....                   | 35 |
| 4.6   | Funcionamiento del sensor YF-S201 .....                  | 37 |
| 4.7   | Funcionamiento de sensor fotorresistencia LDR .....      | 38 |
| 4.8   | Funcionamiento de la red LoRa .....                      | 39 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.9 | Funcionamiento del radio enlace.....  | 40 |
| 5   | CAPÍTULO 5.....   | 43 |
|     | RESULTADOS.....   | 43 |
| 5.1 | Introducción.....   | 43 |
| 5.2 | Resultado final del prototipo de invernadero .....                                  | 43 |
| 5.3 | Recepción de datos en el servidor TTN .....   | 44 |
| 5.4 | Recepción de datos del prototipo de invernadero en TTN.....                         | 45 |
| 5.5 | Visualización de datos recibidos en TTN con el servicio en la nube de Ubidots ..... | 45 |
| 5.6 | Dato de costos del prototipo .....  | 51 |
|     | CONCLUSIONES .....  | 52 |
|     | RECOMENDACIONES .....   | 54 |
|     | BIBLIOGRAFÍA.....   | 55 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2-1 Señal con modulación chirp .....  | 9  |
| Figura 2-2 Esquema de trama física de LoRa .....                                     | 10 |
| Figura 2-3 Relación LoRa – LoRaWAN .....   | 11 |
| Figura 2-4 Arquitectura LoRa.....  | 12 |
| Figura 2-5 Estructura PHY de mensajes uplink.....                                    | 13 |
| Figura 2-6 Estructura PHY de mensajes de downlink .....                              | 13 |
| Figura 2-7 Estructura del mensaje MAC .....  | 14 |
| Figura 3-1 Estructura de la red.....   | 17 |
| Figura 3-2 Distribución de la terminal del cliente .....                             | 22 |
| Figura 3-3 Diagrama de Conexión del Nodo Cliente.....                                | 22 |
| Figura 3-4 Resumen del sistema .....   | 23 |
| Figura 3-5 Estructura de red TTN con productos Dragino .....                         | 24 |
| Figura 3-6 Registro de Gateway en TTN.....   | 24 |
| Figura 3-7 Registro de un dispositivo en TTN Console .....                           | 25 |
| Figura 3-8 Token generado en la plataforma Ubidots .....                             | 26 |
| Figura 3-9 Token de Ubidots en el servidor de TTN.....                               | 26 |
| Figura 3-10 Topología total del prototipo.....                                       | 27 |
| Figura 3-11 Vista Isométrica del prototipo .....                                     | 28 |
| Figura 4-1 Funcionamiento del sensor ultrasónico HCRS04.....                         | 31 |
| Figura 4-2 Conexión del sensor HCRS04.....   | 32 |
| Figura 4-3 Implementación del prototipo en el tanque principal.....                  | 32 |
| Figura 4-4 Funcionamiento del sensor DHT11.....                                      | 33 |
| Figura 4-5 Conexión e implementación del sensor DHT11 en el prototipo .....          | 33 |
| Figura 4-6 Funcionamiento del sensor FC-28.....                                      | 34 |
| Figura 4-7 Conexión e implementación del sensor FC-28 en el prototipo .....          | 35 |
| Figura 4-8 Funcionamiento del sensor ACS712-30A.....                                 | 36 |
| Figura 4-9 Conexión e implementación del sensor ACS712-30A en el prototipo ....      | 36 |
| Figura 4-10 Testeo del Sensor YF-S201 .....  | 37 |
| Figura 4-11 Conexión e implementación del sensor YF-S231 en el prototipo.....        | 38 |
| Figura 4-12 Funcionamiento del sensor fotorresistor .....                            | 38 |
| Figura 4-13 Conexión e implementación del sensor fotorresistor en el prototipo ..... | 39 |
| Figura 4-14 Registro de datos enviados en consola serial de Arduino .....            | 39 |
| Figura 4-15 Recepción de datos enviados en TTN .....                                 | 40 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4-16 Recepción de datos enviados en “Ubidots” .....             | 40 |
| Figura 5-1 Resultado final del prototipo .....                         | 43 |
| Figura 5-2 Registro de datos del nodo cliente en el Gateway LG01 ..... | 44 |
| Figura 5-3 Recepción de datos del prototipo en TTN.....                | 45 |
| Figura 5-4 Gráfica histórica del consumo de agua.....                  | 46 |
| Figura 5-5 Gráfica histórica del consumo de luz eléctrica.....         | 47 |
| Figura 5-6 Gráfica histórica de la humedad del ambiente .....          | 47 |
| Figura 5-7 Gráfica histórica de la humedad de la tierra.....           | 48 |
| Figura 5-8 Gráfica histórica de la luminosidad del ambiente .....      | 48 |
| Figura 5-9 Gráfica histórica del nivel del agua del reservorio.....    | 49 |
| Figura 5-10 Gráfica histórica de la temperatura del ambiente .....     | 50 |
| Figura 5-11 Tablero de Widgets en Ubidots .....                        | 50 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2-1 Entornos de aplicación para IoT .....                                   | 4  |
| Tabla 2-2 Características técnicas de Sigfox, LoRa, y NB-IoT .....                | 6  |
| Tabla 2-3 Características adicionales de IoT para Sigfox, LoRa, y NB-IoT .....    | 7  |
| Tabla 2-4 Comparación de precio de Sigfox, LoRa, y NB-IoT .....                   | 8  |
| Tabla 2-5 Comparativa de costos de dispositivos finales .....                     | 8  |
| Tabla 3-1 Características de los sensores y actuadores.....                       | 18 |
| Tabla 3-2 Característica de la placa de Arduino Mega 2560 y Dragino LoRa Shield20 |    |
| Tabla 4-1 Cálculo del enlace en diferentes entornos. ....                         | 41 |
| Tabla 4-2 Registro de datos enviados en una zona urbana .....                     | 42 |
| Tabla 5-1 Registro de datos del nodo cliente .....                                | 44 |
| Tabla 5-2 Costos del prototipo.....   | 51 |

## **RESUMEN**

El presente proyecto presenta una aplicación de redes de área extensa y bajo consumo en conjunto con el concepto de Internet of Things (IoT), mediante el cual se permite la obtención, el envío y recepción de datos, para su posterior visualización en un servidor web, permitiendo conectar una serie de sensores a un invernadero para realizar un monitoreo a distancia.

Actualmente las Low Power Wide Area Network (LPWAN) tienen varias tecnologías que forman parte de la categoría de las redes inalámbricas, pero las características de transmisión de datos, rango, longitud de la carga útil, inmunidad a interferencias, y despliegue a nivel mundial permiten seleccionar la tecnología Long Range (LoRa) como la mejor para este proyecto.

Mediante una puerta de enlace se busca dar paso al tráfico proveniente de los nodos clientes hacia la Internet, donde todos estos datos podrán ser visualizados de forma histórica en los servidores web como son The Things Network (TTN) y Ubidots.

## **ABSTRACT**

This project presents an application of wide area networks and low consumption in conjunction with the concept of Internet of Things (IoT), through which it is possible to obtain, send and receive data, for later visualization on a web server, allowing a series of sensors to be connected to a greenhouse for remote monitoring.

Currently Low Power Wide Area Network (LPWAN) have several technologies that are part of the category of wireless networks, but the characteristics of data transmission, range, payload length, immunity to interference, and worldwide deployment allow select Long Range (LoRa) technology as the best for this project.

Through a gateway, the aim is to give way to the traffic coming from the client nodes to the Internet, where all this data can be viewed historically on web servers such as The Things Network (TTN) and Ubidots.

## INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en las redes inalámbricas permite tener cada vez una mayor cantidad de dispositivos conectados, para las redes LPWAN para el 2023 las conexiones globales serán del 14% frente al 2.5% en 2018 (CISCO, 2020). Este incremento se da como base de las mejoras de las tecnologías que forman parte de las LPWAN, y también al aumento de sus aplicaciones.

En el presente proyecto de titulación se realizará un estudio de las tecnologías más destacables que forman parte de las LPWAN, se presentará una aplicación de la tecnología LoRa, se estudiará sus beneficios, y se analizará el coste de su implementación.

El capítulo uno trata sobre el planteamiento del problema, justificación, objetivo general y objetivos específicos.

El capítulo dos detalla que son las IoT, en qué lugares se da la mayor parte de su uso, como se involucra a esto las redes LPWAN, cuáles son las de mayor relevancia, y de qué manera funciona la tecnología LoRa.

El capítulo tres explica los diseños que se llevaron a cabo para la implementación de la tecnología LoRa, los elementos a ser utilizados tanto en el Gateway, como en el nodo cliente, y parte de sus configuraciones.

El capítulo cuatro muestra la implementación de la tecnología LoRa, pruebas de funcionamiento de los sensores, de la transmisión de datos, y un análisis de los costos de implementación.

Por último, se muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo del proyecto.



# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Con los avances tecnológicos el área de las telecomunicaciones ha dado grandes pasos para la comunicación de todo tipo de dispositivo del hogar o la industria, mientras se encuentre conectado a la red, esto es conocido como Internet de las cosas o IoT, por tanto existe un brecha entre aquellos que pueden acceder o no a ella, en el Ecuador el 56.6% de los hogares en el área urbana tienen acceso a Internet, contra el apenas 21.6% de los hogares en las áreas rurales (INEC, 2019), es claro que las poblaciones alejadas de las ciudades son las que menos cobertura tienen, por esta razón existen varios trabajos que no se benefician de las IoT, como es la agricultura.

Los agricultores en su mayoría en el sector rural se ven en la necesidad de movilizarse grandes distancias para mantener un conocimiento del estado de sus cultivos, lo cual limita la productividad del agricultor, y además por dificultad de accesos o imprevistos, su movilidad puede ser restringida lo cual lo vuelve vulnerable a pérdidas parciales o totales.

Para el aprovechamiento de las IoT, es necesario una tecnología que permita conectividad de largo alcance, y de bajo costo, como es LoRa, con esta tecnología se puede tener un punto de acceso para las IoT, a una distancia de al menos 5 Km, de esta manera en el sector agrícola se puede monitorear a distancia el estado de los cultivos.

### **1.2 Justificación**

El estudio que se va a realizar es sobre la tecnología LoRa, que busca cumplir con el concepto de IoT, que es una red de sensores y actuadores conectados a Internet a través de redes fijas e inalámbricas, donde pueden capturar datos de forma autónoma y auto configurable, de forma inteligente, basada en hechos del mundo físico; permitiendo que estos sistemas se conviertan en participantes activos en diversos procesos públicos, comerciales, científicos, y personales (Quiroga Montoya, Jaramillo Colorado, Campo Muñoz, & Chanchí Golondrino, 2016). La tecnología de LoRa tiene varias características, entre las que se pueden mencionar, el uso de una topología en estrella,

un alcance de la red de entre 5 Km en áreas urbanas, y 10 Km en áreas suburbanas, una alta capacidad de nodos, tasa de datos de 50 Kbps, sensibilidad -168 dBm, y un bajo consumo de energía (Vera Medina & Zavala Soledispa, 2018). Todas estas características, ayudarán al pequeño y mediano agricultor a mantener una gestión a distancia permitiendo planificar, supervisar, y analizar fácilmente todas las actividades en sus cultivos. Humedad de la tierra, temperatura, luminosidad, nivel de agua de los reservorios, consumo de luz, consumo de agua; controlando estas actividades con unos cuantos clics. El éxito de este proyecto técnico es dar a conocer a la sociedad que con una inversión de bajo costo se puede supervisar un invernadero.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar un prototipo de Internet de las cosas enfocado a invernaderos, mediante la tecnología de LoRa, para la medición de algunos parámetros como son humedad de la tierra, temperatura, luminosidad, nivel de agua de los reservorios, consumo de luz, y consumo de agua.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar las redes de área extensa de bajo consumo (LPWAN), con un enfoque hacia la tecnología LoRa, con sus especificaciones y limitaciones, para su incorporación en una red prototipo IoT de un invernadero.
- Determinar un sistema de adquisición de datos de un invernadero, para la obtención de parámetros a distancia.
- Implementar un prototipo de invernadero con IoT y tecnología LoRa, para la obtención de parámetros de forma remota, que se visualizarán en una interfaz gráfica en la nube
- Analizar los costos de la implementación de la red IoT con tecnología LoRa en un invernadero.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1 Internet de las cosas (IoT)**

El término IoT hace referencia a la conectividad de red que se extiende a sensores, y productos de uso diario diferentes de los ordenadores, permitiendo el intercambio y consumo de datos, con una mínima intervención del usuario. (Rose, Eldridge, & Chapin, 2015).

Al reducir este intercambio y consumo de datos con la mínima interacción humana, se aprecia un avance tecnológico muy importante en el área de tecnologías como en la información y comunicación, como se aprecia en la tabla 2-1, se tiene un gran potencial de transformación que inducirá una interacción pasiva al contenido (Rose, Eldridge, & Chapin, 2015).

Tabla 2-2 Entornos de aplicación para IoT

|  |  |
|--|--|
| <b>CUERPO HUMANO</b><br>Dispositivos unidos al cuerpo humano o colocados dentro del mismo. | Dispositivos para vestir o ingerir, se usan para monitorear y mantener la salud y el bienestar de las personas, manejar enfermedades, aumentar la aptitud física, y la productividad.                                  |
| <b>HOGAR</b><br>Edificios de vivienda  | Controladores y sistemas de seguridad para el hogar  |
| <b>PUNTOS DE VENTA</b><br>Espacios comerciales   | Tiendas, bancos, restaurantes, estadios, cualquier lugar donde los consumidores consideren y compren; sistemas de auto pago, ofertas en compras presenciales, optimización del inventario.                             |
| <b>OFICINAS</b><br>Espacios donde están los trabajadores del conocimiento                  | Gestión de la energía y la seguridad en los edificios de oficinas; mejora de la productividad, incluso para los empleados móviles.   |
| <b>FÁBRICAS</b><br>Entornos de producción estandarizados                                   | Lugares con rutinas de trabajo repetitivas, como hospitales y granjas; eficiencia operativa, optimización del uso de los equipos y el inventario.  |
| <b>OBRAS</b><br>Entornos de producción a medida  | Minería, petróleo, construcción; eficiencia operativa, mantenimiento predictivo, salud, y seguridad.   |
| <b>VEHÍCULOS</b><br>Sistemas dentro de vehículos en movimiento                             | Vehículos, incluyendo automóviles, camiones, barcos, aviones, y trenes; mantenimiento basado en la condición, diseño basado en el uso, análisis de preventa.   |
| <b>CIUDADES</b><br>Entornos urbanos  | Espacios públicos e infraestructura en entornos urbanos; sistemas de control adaptativo de tráfico, contadores inteligentes, monitoreo ambiental, gestión de recursos.   |
| <b>EXTERIORES</b><br>Entre entornos urbanos (y fuera de otros entornos)                    | Los usos exteriores incluyen las vías de ferrocarril, los vehículos autónomos (fuera de los centros urbanos) y la navegación aérea; el enrutamiento en tiempo real, la navegación conectada, el seguimiento de envíos. |

Fuente: (Rose, Eldridge, & Chapin, 2015).

Con el crecimiento exponencial de las IoT, existen varios escenarios para tener en cuenta, sobre todo relacionados con las bajas capacidades de almacenamiento y el uso de baterías, los cuales para su comunicación representan varios desafíos como son:

- Autenticación y direccionamiento
- Uso reducido de energía para las comunicaciones
- Enrutamiento eficiente con bajo consumo de memoria.
- Comunicaciones con baja tasa de pérdidas y alta velocidad
- Mantener las comunicaciones aun en movimiento

Las IoT, en su mayoría mantienen su comunicación con la Internet mediante los protocolos de control de transmisión y de Internet (TCP/IP), los cuales tienen una elevada complejidad y requieren de un consumo de energía y memoria elevado, por esta razón varios proveedores plantean diversos sistemas de comunicación inalámbrica que cumplen con todos los requerimientos, en algunos casos, y en otros, diferentes sistemas proporcionan una solución completa (González Garcia, 2017).

## **2.2 Low Power Wide Area Networks (LPWAN)**

Las LPWAN son redes de área extensa, su uso viene de la mano con la necesidad de uso de los dispositivos para IoT, y que estos tengan conectividad aun a grandes distancias, y con un bajo consumo de energía, sin embargo, tienen una baja velocidad de datos, pero para las múltiples aplicaciones de IoT no es un recurso indispensable.

Entre las LPWAN de mayor uso están, Sigfox, LoRa, y NB-IoT, estas redes cumplen con las necesidades de las IoT detalladas en la tabla 2-2, a diferencia de las redes como ZigBee, Bluetooth, etc., que son tecnologías de radio de corto alcance, y las cuales no se adaptan a la necesidad de comunicaciones de área extensa, así también representan una alternativa al uso de sistemas basados en comunicaciones celulares (2G, 3G, y 4G) que pueden proporcionar una amplia cobertura, pero su uso de energía es excesivo (Machado Gonzáles, 2019).

Tabla 2-3 Características técnicas de Sigfox, LoRa, y NB-IoT

|                              | Sigfox   | LoRa   | NB-IoT  |
|------------------------------|--|--|---|
| Espectro                     | No licenciado (ISM)  | No licenciado (ISM)  | Licenciado  |
| Frecuencia                   | EU 868 MHz<br>US 915 MHz   | EU 868 MHz<br>US 915 MHz   | Bandas de frecuencia LTE  |
| Modulación                   | UL: UN DBPSK<br>DL: GFSK   | CSS  | OFDMA (UL) SC-FDMA (DL)   |
| Ancho de banda               | 100 Hz   | 250 kHz y 125 kHz  | 200 kHz   |
| Máx. velocidad de datos      | EU: 100 bps<br>US: 600 bps   | 50 kbps  | UL: DL: 250 kbps<br>200 kbps                                    |
| Bidireccionalidad            | Limitada/Half duplex   | Si/Half duplex   | Si/Half duplex  |
| Máx. mensajes/día            | UL: 140 DL: 4  | Ilimitado  | Ilimitado   |
| Máx. payload                 | UL: 12 bytes<br>DL: 8 bytes  | 243 bytes  | 1600 bytes  |
| Rango                        | Urbano: 10 km<br>Rural: 40 km                                      | Urbano: 5 km<br>Rural: 20 km                                       | Urbano: 1 km<br>Rural: 10 km                                    |
| Inmunidad a interferencias   | Muy alta   | Muy alta   | Baja  |
| Autenticación y encriptación | No soportada   | Sí, AES 128b   | Sí, encriptación LTE  |
| Tasa de datos adaptativa     | No   | Sí   | No  |
| Handover                     | Los dispositivos finales no se suscriben a una única estación base | Los dispositivos finales no se suscriben a una única estación base | Los dispositivos finales se suscriben a una única estación base |
| Localización                 | Sí, RSSI   | Sí, RDOA   | No (bajo especificación)  |
| Permite red privada          | No   | Sí   | No  |

Elaborado por: Cevallos Bryan & Rubio Santiago

A continuación, se tomará en cuenta ciertos factores relevantes de la tabla 2-3, para el caso de estudio:

QoS (Quality of Service): La calidad de servicio que presenta LoRa es de rango medio debido a que la pérdida y el retraso de paquetes aumentan con la distancia (Widianto, Pakpahan, Faizal, & Septiana, 2018), sin embargo, dentro de su rango de operación se mantiene en un valor aceptable para las aplicaciones de IoT.

Duración de batería: Tanto Sigfox, LoRa, y NB-IoT, tienen estaciones de usuarios (UE) con modo de suspensión de esa manera pasan gran parte de tiempo sin operación, disminuyendo el consumo de energía, esto contribuye en un aumento de duración de las baterías, pero para NB-IoT que tiene QoS, y comunicación síncrona, existe un uso de energía adicional (Machado Gonzáles, 2019).

Escalabilidad y tamaño de carga útil: Para la escalabilidad, Sigfox, LoRa, y NB-IoT, tienen la característica de soportar una gran cantidad de dispositivos conectados, para LoRa con una sola puerta de enlace de ocho canales puede admitir unos cientos de cientos de miles de mensajes en el transcurso de un período de 24 horas. Si cada dispositivo final envía 10 mensajes al día, dicha puerta de enlace puede admitir unos 10.000 dispositivos (Semtech Corporation, 2019). En comparación de carga útil las redes con NB-IoT permiten una transmisión de 1600 bytes, a diferencia de LoRa que tiene una longitud máxima de 243 bytes y Sigfox que solo maneja 12 bytes.

Despliegue: NB-IoT fue lanzada en el año de 2016, y actualmente aún se encuentra en el tiempo de establecimiento de la red. Para las redes de LoRa y Sigfox se están comercializando en 92, y 54 países respectivamente (Machado Gonzáles, 2019).

Tabla 2-4 Características adicionales de IoT para Sigfox, LoRa, y NB-IoT

|                 | Sigfox  | LoRa          | NB-IoT     |
|-----------------|---|---------------|------------|
| Estandarización | La compañía Sigfox colabora con ETSI en la estandarización de la red basada en Sigfox | LoRa-Alliance | 3GPP       |
| QoS             | Media   | Media         | Muy alta   |
| Latencia        | Baja  | Media         | Alta       |
| Escalabilidad   | Baja  | Baja          | Alta       |
| Despliegue      | 54 países   | 92 países     | En proceso |

Elaborado por: Cevallos Bryan & Rubio Santiago

Coste: Para los costes de implementación se tienen considerados varios aspectos como son el espectro de frecuencia, el costo de implementación de la red, y el precio de los dispositivos, que son costos proyectados para Europa, debido al amplio despliegue en este continente y a los numerosos estudios comparativos realizados, en la tabla 2-4 se tiene la comparación en las tecnologías mencionadas anteriormente.

Tabla 2-5 Comparación de precio de Sigfox, LoRa, y NB-IoT

|             | Sigfox               | LoRa                                  | NB-IoT                |
|-------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Espectro    | Gratis               | Gratis                                | >500M€/MHz            |
| Despliegue  | >4000€/estación base | >100€/Gateway<br>>1000€/estación base | >15000€/estación base |
| Dispositivo | <2€                  | 3-5€                                  | >20€                  |

Fuente: (Mekki, Bajic, Chaxel, & Meyer, 2018)

Para los módulos que intervienen en los dispositivos para el envío de información se tiene la siguiente tabla 2-5, con precios en relación con el mercado americano.

Tabla 2-6 Comparativa de costos de dispositivos finales

| Tecnología | Costo       |
|------------|-------------|
| NB-IoT     | \$ 80 – 100 |
| Sigfox     | \$ 20 – 40  |
| LoRa       | \$ 10 - 30  |

Fuente: (Pinto Erazo, 2020)

Dentro de las redes de LPWAN, LoRa es una tecnología que muestra mejores prestaciones para la implementación de un invernadero con IoT, las cuales son un rango de alcance de hasta 20 Km, bajo consumo de batería debido al modo de suspensión del dispositivo, bajo costo de despliegue, y un gran número de dispositivos finales conectados a una sola puerta de enlace.

### 2.3 Long Range (LoRa)

LoRa es un tipo de modulación de espectro ensanchado (FSK) y una variación del espectro extendido chirp (CSS), de las cuales se conserva las características de bajo consumo de potencia de FSK, pero se consigue un aumento del área de comunicación. Los dispositivos inalámbricos de LoRa son de largo alcance, con un bajo consumo de potencia, siendo estos utilizados para las redes de IoT de todo el mundo. La tecnología

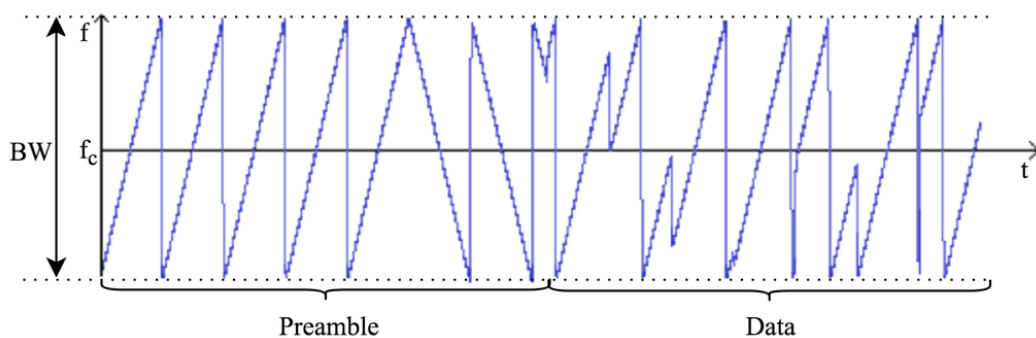


de LoRa y su protocolo abierto LoRaWAN, permiten la aplicación de IoT que resuelve varios de los desafíos mundiales como son: uso eficiente de energía, y de recursos naturales, regulación de la contaminación, infraestructura, protección de desastres, etc. De esta manera con más de 158 millones de terminales conectadas a Internet en 92 países y en aumento, las terminales de LoRa están instaurando un planeta más eficiente (SEMTECH, 2020).

### 2.3.1 Formato de trama física

La trama de LoRa comienza con un preámbulo observado en la figura 2-1. El preámbulo comienza con una secuencia de upchirps constantes que cubren toda la banda de frecuencia. Los dos últimos upchirps codifican la palabra de sincronización. La palabra de sincronización es un valor de un byte que se utiliza para diferenciar las redes LoRa que utilizan las mismas bandas de frecuencia. Un dispositivo configurado con una palabra de sincronización determinada dejará de escuchar una transmisión si la palabra de sincronización descodificada no coincide con su configuración. La palabra de sincronización es seguida por dos y un cuarto downchirps, para una duración de 2.25 símbolos. La duración total de este preámbulo se puede configurar entre 10.25 y 65,539.25 símbolos (Aloys, Jiazi, Thomas, & William Mark, 2016).

Figura 2-1 Señal con modulación chirp

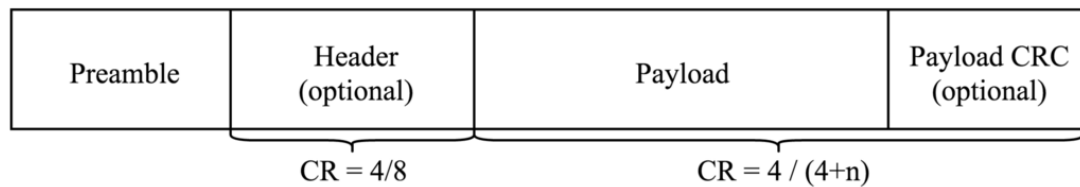


Variación de frecuencia a lo largo del tiempo de una señal de muestra emitida por un transmisor LoRa. FC es la frecuencia central del canal, y BW es el ancho de banda. Fuente: (Aloys, Jiazi, Thomas, & William Mark, 2016).

Después del preámbulo, hay un encabezado opcional visualizado en la figura 2-2. Cuando está presente, este encabezado se transmite con una velocidad de código de 4/8. Esto indica el tamaño de la carga útil (en bytes), la velocidad de código usada para

el final de la transmisión y si un CRC de 16 bits para la carga útil está presente al final de la trama. El encabezado también incluye un CRC para permitir que el receptor descarte los paquetes con encabezados no válidos. El tamaño de la carga se almacena mediante un byte, lo que limita el tamaño de la carga a 255 bytes.

Figura 2-3 Esquema de trama física de LoRa



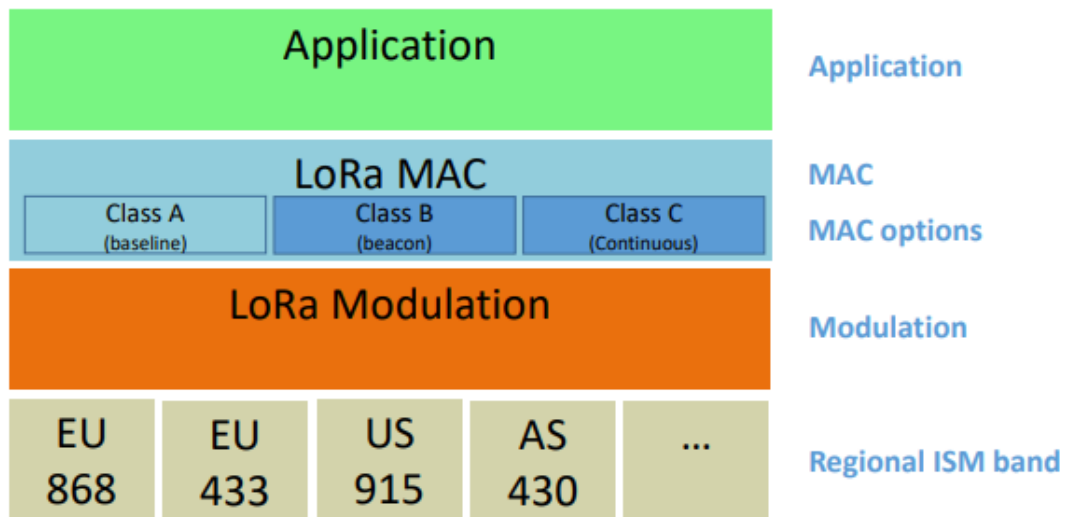
Fuente: (Aloys, Jiazi, Thomas, & William Mark, 2016)

## 2.4 LoRaWAN

LoRa Alliance define a LoRaWAN como el protocolo de comunicación y estructura para la red, mientras LoRa es la encargada de habilitar el enlace de comunicación de largo alcance dentro de la capa física, apreciado en la figura 2-4. El protocolo y la estructura de la red tienen una mayor contribución a la hora de determinar, la duración de la batería de una terminal, la capacidad de la red, la seguridad, y la diversidad de usos que puede ofrecer la red (LoRa Alliance, 2015).

Está desarrollado de tal manera que permite la conexión a Internet de dispositivos inalámbricos. Por tanto, LoRaWAN hace uso del espectro de radiofrecuencia sin licencia en la banda industrial, científica, y médica (ISM), y garantiza una velocidad de operación de entre 0.3Kbps y 50Kbps, una velocidad que es suficiente para las aplicaciones de IoT, y que permite además un ahorro de energía y extensión de duración de las baterías de las terminales (Moya Quimbata, 2018) (de la Cámara, 2019).

Figura 2-5 Relación LoRa – LoRaWAN



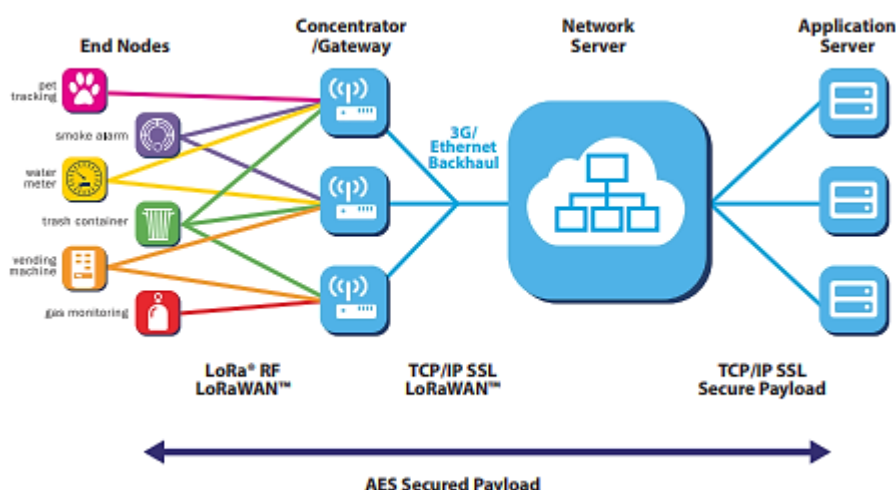
Protocolo de comunicación y arquitectura del sistema LoRaWAN. Fuente: (LoRa Alliance, 2015)

## 2.5 Arquitectura de red

Gran parte de las redes existentes utilizan una arquitectura de red de malla, de esta manera las terminales finales envían la información de otros terminales aumentando el área de comunicación y el tamaño de la red. Conforme crece la red, esta se vuelve más compleja, y se disminuye la duración de las baterías, a la par que las terminales receptan y emiten la información de las otras terminales, que probablemente no tiene importancia para ellos. La arquitectura en estrella tiene mejores beneficios para resguardar la duración de las baterías cuando se mantiene una comunicación de largo alcance (LoRa Alliance, 2015).

La arquitectura está conformada por Gateways, terminales, servidores de red, y servidores de aplicación, como se puede ver en la figura 2-6. Para la red de LoRa, las terminales no están vinculados a un solo Gateway, por tanto, los datos enviados por una terminal son recibidos por varios Gateways y cada Gateway reenviará el paquete recibido desde el terminal final a los servidores de red, a través de una red de retorno ya sea celular, Ethernet, satelital, o WiFi (LoRa Alliance, 2015).

Figura 2-7 Arquitectura LoRa



Fuente: (LoRa Alliance, 2015)

La red LoRa posee tres clases de terminales finales para abordar las diversas aplicaciones:

**Clase A, bidireccional:** Las terminales finales tipo A pueden programar un envío de enlace ascendente en función de sus propias necesidades, con un pequeño jitter (variación aleatoria antes de la transmisión). Esta clase de dispositivos permite comunicaciones bidireccionales, por lo que a cada transmisión de enlace ascendente le siguen dos ventanas de recepción de enlace descendente corto. La transmisión de enlace descendente desde el servidor en cualquier otro instante de tiempo debe esperar hasta que se produzca la siguiente transmisión de enlace ascendente. Los dispositivos de clase A tienen el menor consumo de energía, pero también ofrecen menos flexibilidad en las transmisiones de enlace descendente (Aloys, Jiazi, Thomas, & William Mark, 2016).

**Clase B, bidireccional con ranuras de recepción programadas:** Las terminales finales tipo B abren ventanas de recepción adicionales en horarios programados. Por lo tanto, requieren de una baliza de sincronización del Gateway, de modo que los servidores de red puedan saber cuándo el dispositivo final se encuentra en modo escucha (Aloys, Jiazi, Thomas, & William Mark, 2016).

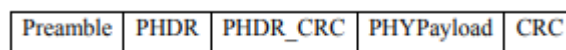
Clase C, bidireccional con ranuras de recepción máximas: Las terminales finales de tipo C tienen ventanas de recepción casi continuas. Por esta razón, se tiene un alto consumo de batería (Aloys, Jiazi, Thomas, & William Mark, 2016).

## 2.6 Formato de mensaje LoRaWAN

LoRa utiliza los encabezados tipo PHY (physical layer) tanto para mensajes de downlink visualizado en la figura 2-8 y uplink detallado en la figura 2-6, la diferencia radica en que el enlace ascendente tiene un campo de verificación de redundancia cíclica (CRC) el cual es opcional. El preámbulo varía según la región en la que se esté ejecutando LoRa (Romero Vélez, 2020).

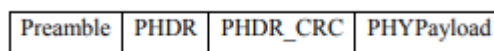
- Preamble: Usado para detectar las señales LoRa.
- PHDR: Encabezado físico LoRa.
- PHDR CRC: Verificación de redundancia cíclica de encabezado.
- PHYPayload: Carga útil.
- CRC: Verificación de redundancia cíclica.

Figura 2-9 Estructura PHY de mensajes uplink



Fuente: (Carrión González, 2017)

Figura 2-10 Estructura PHY de mensajes de downlink



Fuente: (Carrión González, 2017)

De igual manera LoRaWAN define una serie de mensajes MAC que se encuentra dentro de PHYPayload de LoRa observados en la figura 2-11, de los cuales hay tres tipos:

- Mensaje de unir.
- Mensaje de confirmación.

- Mensaje de no confirmación.

Figura 2-12 Estructura del mensaje MAC

| MHDR  |     |       | MACPayload |       |      |       |       | MIC        |  |
|-------|-----|-------|------------|-------|------|-------|-------|------------|--|
| Mtype | RFU | Major | FHDR       |       |      |       | FPort | FRMPayload |  |
|       |     |       | DevAdrr    | FCtrl | FCnt | FOpts |       |            |  |

Fuente: (Romero Vélez, 2020)

Donde:

- MHDR: Encabezado MAC.
  - Mtype: Tipo de mensaje.
  - RFU: Reservado para futuro uso.
  - Major: Indica el formato del mensaje.
- MACPayload: Carga útil.
  - FHDR: Encabezado de la trama.
    - DevAdrr: Dirección del dispositivo final.
    - FCtrl: Campo de administración de la velocidad de datos adaptable, los comandos ACK y MAC.
    - FCnt: Contador de frames transmitidos.
    - FOpts: Opciones de frame que contiene comandos MAC.
  - FPort: Campo de puerto opcional.
  - FRMPayload: Campo de carga útil de trama opcional.
- MIC: Código de integridad del mensaje (Romero Vélez, 2020).

## 2.7 Seguridad LoRaWAN

LoRaWAN tiene dos niveles de seguridad: una para la aplicación y otra para la red. La autenticidad de la terminal es garantizada gracias a la seguridad de la red, mientras que para que el operador de red no tenga acceso a los datos de la terminal es necesario un nivel de seguridad para la aplicación. El cifrado AES-128 realiza un intercambio de claves mediante el identificador IEEE EUI64. Existen beneficios en cada elección de tecnología, pero las características de LoRaWAN en una estructura de red,

seguridad, escalabilidad, capacidad, y movilidad aborda la mayor variedad de aplicaciones deseables de las IoT (LoRa Alliance, 2015).

AES (Advanced Encryption Standard) es un algoritmo de cifrado de claves simétricas por bloques, posee una longitud de claves 128, 192 o 256 bits, sus principales características abarcan (Soto, 2016):

- Preserva confidencialidad de la información
- Emplea una clave compartida
- Requiere un intercambio de claves fuera de banda, es decir en una comunicación separada
- Esquema no escalable, al ser necesaria una clave por cada interlocutor.
- Tamaño pequeño de clave y algoritmos poco pesados de procesar
- Apropriados para el cifrado de información masiva (archivos, unidades de disco).

Para una autenticación mutua se debe garantizar la seguridad del nodo, este puede ser activado mediante aire conocido como OTAA (over the air activation) o activación por personalización conocida como ABP (activation by personalization) (Mahmood, 2019). En el procedimiento de OTAA los dispositivos finales transmiten un join\_request hacia el servidor, que este validará respondiendo con join\_accept (Mahmood, 2019). En ABP se coloca las claves de sesión en los dispositivos finales por parte de los fabricantes. En ambos procedimientos la clave es simétrica y única para cada dispositivo final (Mahmood, 2019).

LoRaWAN genera 2 tipos de claves en AES-128 que encripta por bloques:

Network Session Key: la clave es transmitida a los servidores, resguardando el interior del paquete en el cual se encuentra los mensajes MAC (Vera Medina & Zavala Soledispa, 2018).

Application Session Key: este tipo de clave brinda seguridad de extremo a extremo, una vez ingresa al servidor este se auto protege en aplicativos (Vera Medina & Zavala Soledispa, 2018).

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DE LA RED IOT CON LORA**

#### **3.1 Introducción**

El objetivo del presente proyecto es establecer una red IoT de sensores, que en conjunto con la tecnología LoRa, permitan la medición de algunos parámetros presentes en los invernaderos, este capítulo describe el modo de conexión y las configuraciones que se llevaron a cabo en la terminal y el Gateway para el estudio de la transmisión inalámbrica.

La selección de Gateway y Shield, en la marca Dragino con referencia a otras marcas tales como Heltec, Taidacent, Semtech, Acrobotic, etc. Es por la confiabilidad que ha alcanzado y disposición para una implementación comercial, ayudando a lanzar productos innovadores llegando así a distribuir sus distintos productos en varios países en los diferentes continentes ofreciendo un sistema operativo open-write en su placa la cual está basada en Linux, siendo así estable, actualizada con documentación de ayuda o guía en su empleo y aplicación. Su hardware abierto ayuda a los diseñadores puedan incorporar los dispositivos que prefieran según sus requerimientos, y, a su vez al ser modular brinda una robustez para el ahorro de tiempo y riesgo en etapas de desarrollo y pruebas.

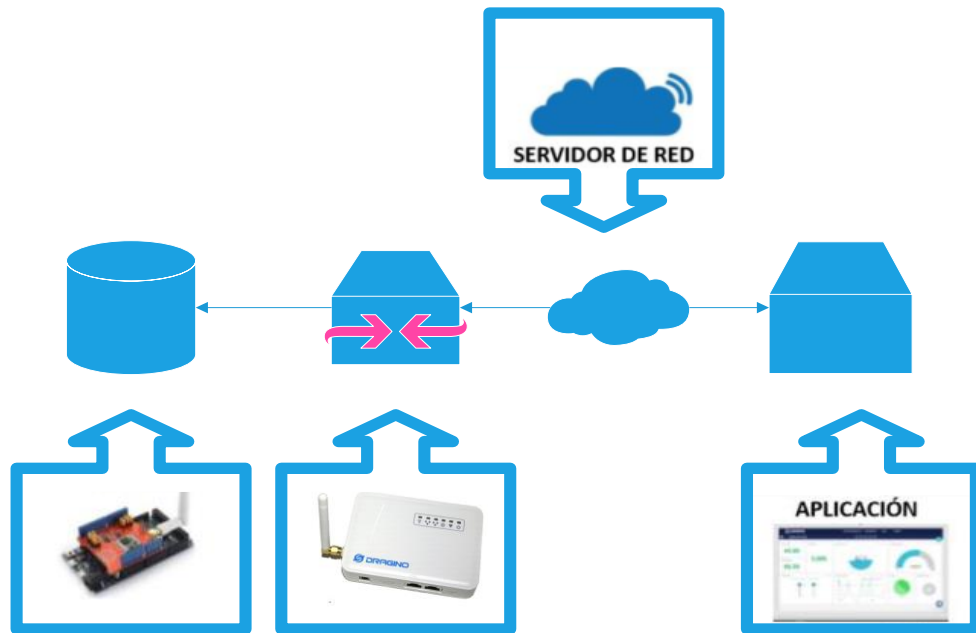
#### **3.2 Estructura de la Red**

Como se aprecia en la figura 3-1, la arquitectura de red que servirá para gestionar la información capturada por los sensores hacia la Internet corresponde a LoRaWAN. Las partes principales de la arquitectura son:

- Sensores: En el nodo tiene comunicación LoRa con acceso al Gateway
- Gateway: Recibe los datos de los sensores a través de LoRa y los transmite a Internet mediante WiFi, 3G, LTE etc. El Gateway también determina el área de cobertura en el cual se enlaza la terminal.
- Servidor de red: Recibe y almacenará la información para ser gestionada en este caso será TTN.
- Servidores de aplicaciones: Ayuda implementando de forma gráfica o estadística la información recibida.



Figura 3-1 Estructura de la red




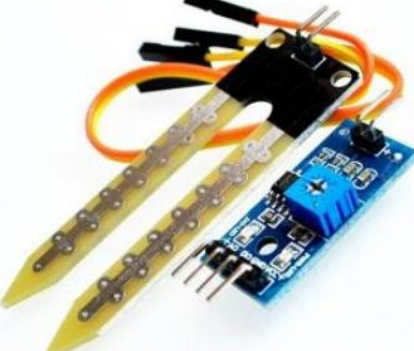
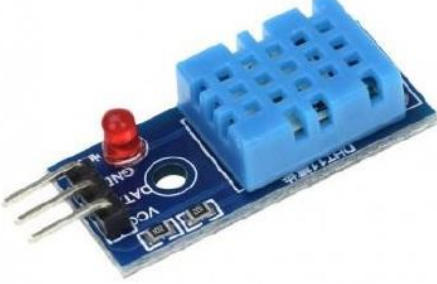
Elaborado por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago



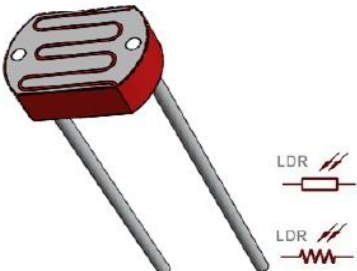
### 3.3 Nodo Cliente

El nodo consta de varios sensores conectados de los cuales, un sensor Ultrasónico HC-SR04 para detectar proximidad que va a detectar el nivel de agua, y accionará una electroválvula según el setpoint establecido.

Sensor FC-28 el cual permite evaluar la humedad del suelo por si necesita riego, según la afirmación activará una bomba para riego a través de tuberías. Sensor DHT11 para identificar la temperatura ambiente y su respectiva Humedad. Sensor de caudal establecer el consumo de agua, las características de cada uno de estos sensores se encuentran con detalle en la tabla 3-1.

Tabla 3-2 Características de los sensores y actuadores

| Sensores   | Características  |
|--|--|
|  <p>The image shows an HC-SR04 ultrasonic sensor module. It is a blue printed circuit board (PCB) with two large, silver, cylindrical ultrasonic transducers (one for transmitting and one for receiving) mounted on it. The PCB has four pins extending from the bottom, labeled 'Vcc', 'Trig', 'Echo', and 'Gnd'.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre: HC-SR04</li> <li>– Voltaje de operación: 5v</li> <li>– Conexiones: Vcc, Trigger, Echo, GND</li> <li>– Rango de medición: 2cm-400cm</li> <li>– Precisión: <math>\pm 3</math>mm</li> <li>– Corriente de alimentación: 15mA</li> <li>– Frecuencia de pulso: 40 KHz</li> <li>– Angulo efectivo de medición: <math>&lt;15^\circ</math></li> <li>– Señal de disparo: 10uS</li> <li>– Dimensiones del módulo: 45mm/20mm/15mm (largo/ancho/alto)</li> </ul>   |
|  <p>The image shows an FC-28 force sensor module. It consists of a blue PCB with a black sensor chip and a blue potentiometer. Two yellow wires are connected to the module. The PCB has three pins extending from the bottom.</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre: FC-28</li> <li>– Voltaje de funcionamiento: 3.3v - 5v.</li> <li>– El modo de doble salida, salida analógica más precisa.</li> <li>– Panel PCB dimensión: 3cm x 1.5cm.</li> <li>– Suelo dimensión sonda: 6cm x 3cm.</li> <li>– Longitud del cable: 21cm</li> </ul>   |
|  <p>The image shows a DHT11 temperature and humidity sensor module. It is a blue PCB with a white sensor chip and a blue potentiometer. A red LED is also present. The PCB has three pins extending from the bottom, labeled 'VCC', 'GND', and 'DATA'.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre: DHT11</li> <li>– Voltaje de operación: 3 a 5V</li> <li>– Consumo: 2.5mA máximo durante la conversión (al tiempo que solicita datos)</li> <li>– Humedad: 20-80% con 5% de precisión</li> <li>– Temperatura: 0-50 grados Celsius, <math>\pm 2</math> grados de precisión</li> <li>– Frecuencia de muestreo máxima: 1 Hz (una vez por segundo)</li> <li>– Tamaño: 15.5x12x5.5 mm (Sensor) / 30x14x8 mm (Módulo Sensor)</li> <li>– Número de pines: 4 pines (Sensor) / 3 pines (Módulo Sensor)</li> </ul> |

|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre: YF-S201</li> <li>– Para tubería de 1/2" estándar</li> <li>– Rango de operación: 1-30 litros/minuto</li> <li>– Presión de trabajo: <math>\leq 1.75</math> MPa (253 psi)</li> </ul>   |
|---|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre: ACS712 (30)</li> <li>– Voltaje de salida: 66mV / A</li> <li>– Voltaje de operación: 4.5V ~ 5.5V</li> <li>– Salida de voltaje sin corriente: VCC / 2</li> <li>– Dimensiones PCB: 31 (mm) x14 (mm)</li> <li>– 5<math>\mu</math>s output rise time in response to step input current</li> <li>– Ancho de banda 80 kHz</li> <li>– Error Total Salida: 1.5% at TA = 25°C</li> <li>– Resistencia interna: 1.2 mO</li> <li>– Mínimo voltaje de aislamiento entre pines 1-4 a pines 5-8: 2.1 kVRMS</li> <li>– Sensibilidad de salida: de 66 a 185 mV/A</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre: LDR</li> <li>– Resistencia (con luz): ~1k Ohm</li> <li>– Resistencia (oscuridad): ~10k Ohm</li> <li>– Vmax: 150V</li> <li>– Disipación: 100mW max</li> </ul>  |
| Actuadores  | Características  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre: Mini bomba de agua de membrana R385</li> <li>– Modelo: R385.</li> <li>– Material: ABS, silicona y metal.</li> <li>– Forma: redonda.</li> <li>– Voltaje: 6-12V.</li> <li>– Corriente: 1A.</li> <li>– Potencia: 6W/h.</li> <li>– Temperatura máxima: 80 °C.</li> </ul>  |

Elaborado por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

### 3.3.1 Hardware Nodo Cliente

Para la transmisión LoRa entre el nodo cliente se utilizó el Dragino LoRa Shield y El Arduino Mega 2560 R3 basada en el microcontrolador ATmega2560 de Atmel, detallados en la tabla 3-3.

Tabla 3-4 Característica de la placa de Arduino Mega 2560 y Dragino LoRa Shield

|  | Características  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre: Arduino Mega 2560</li> <li>– 54 pines digitales de E/S (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM)</li> <li>– 16 entradas analógicas</li> <li>– UARTs (puertos seriales)</li> <li>– Velocidad del reloj (oscilador) 16MHz</li> <li>– Una conexión USB</li> <li>– Un conector de alimentación</li> <li>– Un conector ICSP</li> <li>– Un botón de reinicio (reset)</li> <li>– Microcontrolador ATmega2560</li> <li>– Voltaje de funcionamiento 5V</li> <li>– Voltaje de entrada (recomendado) 7-12VCD</li> <li>– Voltaje de entrada (límite) 6-20V</li> <li>– Corriente continua por pin E/S 20mA</li> <li>– Corriente de los pines de 3.3V 50 mA</li> <li>– LED incorporado en el pin 13</li> <li>– Circuito de RESET más fuerte</li> <li>– Memoria Flash de 256KB para almacenar el código, de los cuales 8KB son utilizados por el gestor de arranque (bootloader)</li> <li>– SRAM 8KB</li> <li>– EEPROM 4KB (que se puede leer y escribir con la biblioteca EEPROM)</li> <li>– Longitud: 102mm</li> <li>– Ancho: 53mm</li> </ul> |

|   |   |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre: Dragino LoRa Shield</li> <li>- Enlace máximo de 168 dB.</li> <li>- +20 dBm - Salida RF constante de 100 mW frente a.</li> <li>- +14 dBm PA de alta eficiencia.</li> <li>- Velocidad binaria programable de hasta 300 kbps.</li> <li>- Alta sensibilidad: hasta -148 dBm.</li> <li>- Frontal a prueba de balas: IIP3 a -12,5 dBm.</li> <li>- Excelente inmunidad de bloqueo.</li> <li>- Corriente RX baja de retención de registro de 10,3 mA y 200 nA.</li> <li>- Sintetizador totalmente integrado con una resolución de 61 Hz.</li> <li>- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM y modulación OOK.</li> <li>- Sincronizador de bits integrado para la recuperación del reloj.</li> <li>- Detección de preámbulos.</li> <li>- 127 dB Rango dinámico RSSI.</li> <li>- Sentido automático de RF y CAD con AFC ultrarrápido.</li> <li>- Motor de paquetes de hasta 256 bytes con CRC.</li> <li>- Sensor de temperatura incorporado e indicador de batería baja.</li> </ul> |
|---|---|

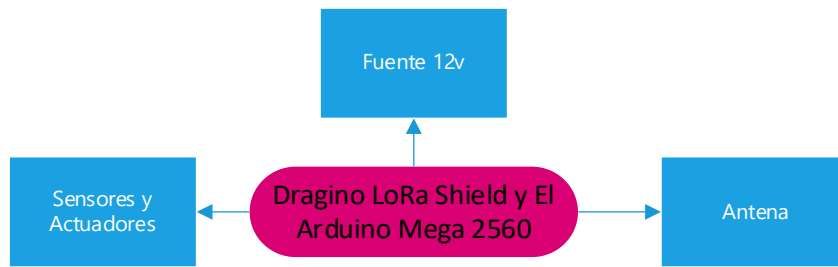
Elaborado por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

El nodo cliente estará conformado principalmente el microcontrolador y Shield LoRa que fueron detallados anteriormente, sensores y actuadores, en la figura 3-2 se observa cómo está formado la terminal del cliente:

- Microcontrolador: Procesa los datos recibidos de los sensores y los transmite a través de la antena al Gateway LoRa LG01.
- Antena: Se encarga del envío y recepción de datos
- Sensores y actuadores: Envío y control de los distintos parámetros del invernadero.
- Fuente de energía: Energiza a la terminal y sus mecanismos.



Figura 3-2 Distribución de la terminal del cliente

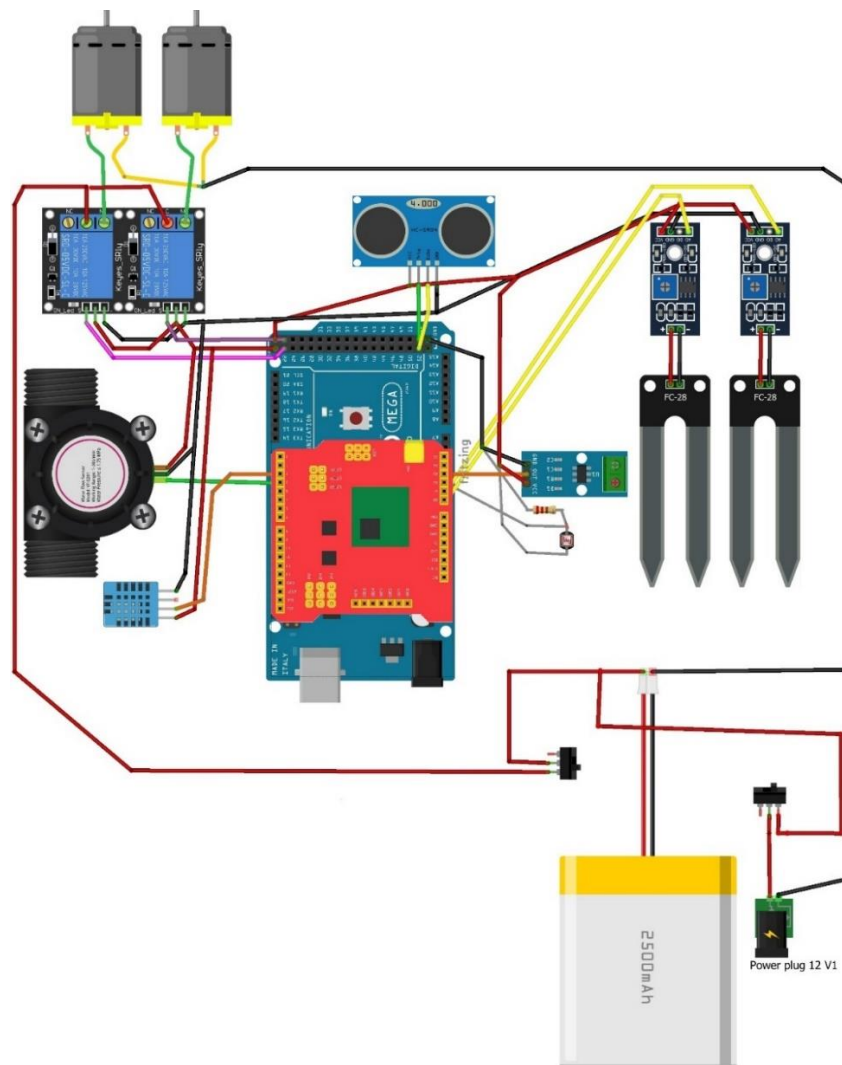


Elaborado por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

### 3.3.2 Diagrama de conexión del circuito nodo cliente

El circuito de la figura 3-3 es un esquema de circuitería realizado en el software fritzing, facilitando la comprensión de las líneas de fuente y datos de cada sensor implementado.

Figura 3-3 Diagrama de Conexión del Nodo Cliente



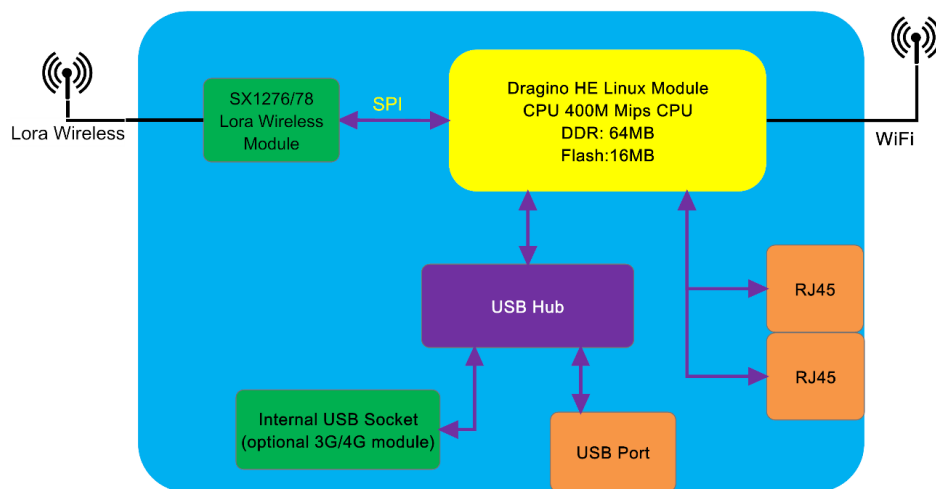
Elaborado por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

### 3.4 Hardware Gateway LoRa

El Gateway LG01N cuenta con un sistema observado en la figura 3-4, el cual conecta a la red de LoRa con una red IP a través de WiFi, Ethernet, 3G/4G celular, mediante el módulo LTE (Long Term Evolution). Puede admitir el protocolo LoRaWAN limitado en una sola frecuencia y el protocolo de transmisión LoRa personalizado. A diferencia de LG01-P/LG01-S, LG01-N se utiliza Linux para el control directo del módulo LoRa sx1276/sx1278 aumentando la eficiencia de la comunicación y simplifica el diseño del software. Una de sus aplicaciones podría ser conectar una red IoT de bajo costo para admitir entre 50 y 300 terminales. Excepto el modo LoRaWAN, puede admitir el modo de trabajo mutiply como: modo MQTT, modo de cliente TCP/IP para adaptarse a diferentes requisitos de conexión IoT. Está basado en la solución sx1276 que proporcionan un bajo costo para su conexión de red IoT. LG01-N es muy adecuado para configurar una red LoRa a pequeña escala con una alta sensibilidad de -148dBm. (Dragino, 2019).

Figura 3-5 Resumen del sistema

#### LG01N System Overview:



Fuente: (Dragino, 2019)

### 3.5 Plataforma The Things Network (TTN).

La plataforma de TTN permite que dispositivos de IoT utilicen Gateways de largo alcance que se conectan a una red de código abierto descentralizada para el intercambio de datos con aplicaciones (The Things Network, 2020). En el caso de estudio el servidor TTN su conexión fue establecida a Dragino como en la figura 3-6.

Figura 3-7 Estructura de red TTN con productos Dragino



Fuente: The Things Network

Para el registro de puertas de enlace y clientes es necesario definir algunos parámetros visualizando el interfaz en la figura 3-8 y en su defecto registro por consola en la figura 3-9.

Figura 3-10 Registro de Gateway en TTN

**Gateway ID**  
A unique, human-readable identifier for your gateway. It can be anything so be creative!

☐ **I'm using the legacy packet forwarder**  
Select this if you are using the legacy [Semtech packet forwarder](#).

**Description**  
A human-readable description of the gateway

**Frequency Plan**  
The [frequency plan](#) this gateway will use

**Router**  
The router this gateway will connect to. To reduce latency, pick a router that is in a region which is close to the location of the gateway.

Fuente: TTN

- **Gateway ID:** Un identificador único legible para la puerta de enlace, puede ser la dirección MAC con un sufijo agregado ffff.
- **Description:** Descripción de la puerta de enlace que se está registrando.



- Frequency Plan: Plan de frecuencias en las que operará la puerta de enlace.
- Router: El router al que se conectará esta puerta de enlace. Para reducir la latencia, elija un enrutador que se encuentra en una región que esté cerca de la ubicación de la puerta de enlace.

Figura 3-11 Registro de un dispositivo en TTN Console

**Application ID**  
The unique identifier of your application on the network

**Description**  
A human readable description of your new app

**Application EUI**  
An application EUI will be issued for The Things Network block for convenience, you can add your own in the application settings page.

**Handler registration**  
Select the handler you want to register this application to

Fuente: The Things Network

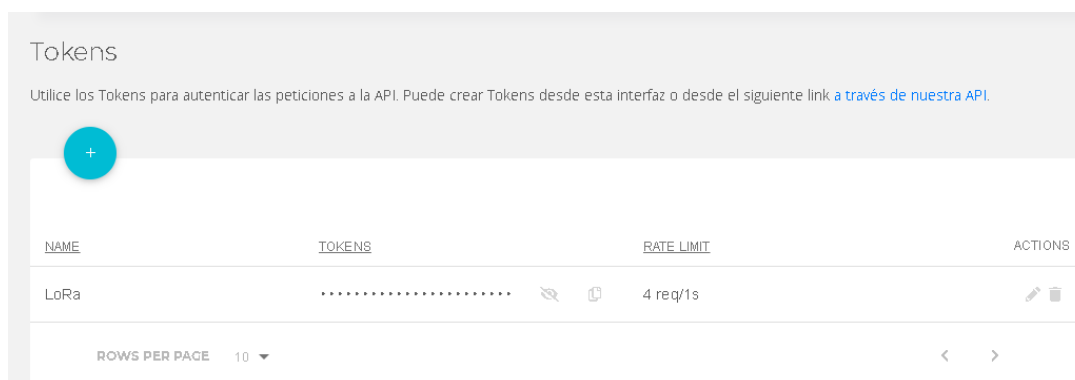
- ID de aplicación: El identificador único de la aplicación en la red.
- Descripción: Una descripción de la nueva aplicación.
- Aplicación EUI: Se emitirá una EUI de aplicación para el bloque The Things Network.
- Registro del manejador: Seleccione el controlador en el que desea registrar esta aplicación.



### 3.6 Plataforma Ubidots

La plataforma de Ubidots entrega soluciones de IoT que flexibiliza la integración de sistemas a nivel global. Esta herramienta permite monitorear, controlar y automatizar de forma remota los diferentes procesos, permitiendo tomar los datos de los sensores, puestos en la nube, y configurar tableros, alertas, o conectarse con otras plataformas, y arrojar mapas de datos.

Mediante el intercambio de datos de las plataformas es necesario el uso de un token de seguridad, el cual es proporcionado por la plataforma de Ubidots observado en la figura 3-12.

Figura 3-13 Token generado en la plataforma Ubidots



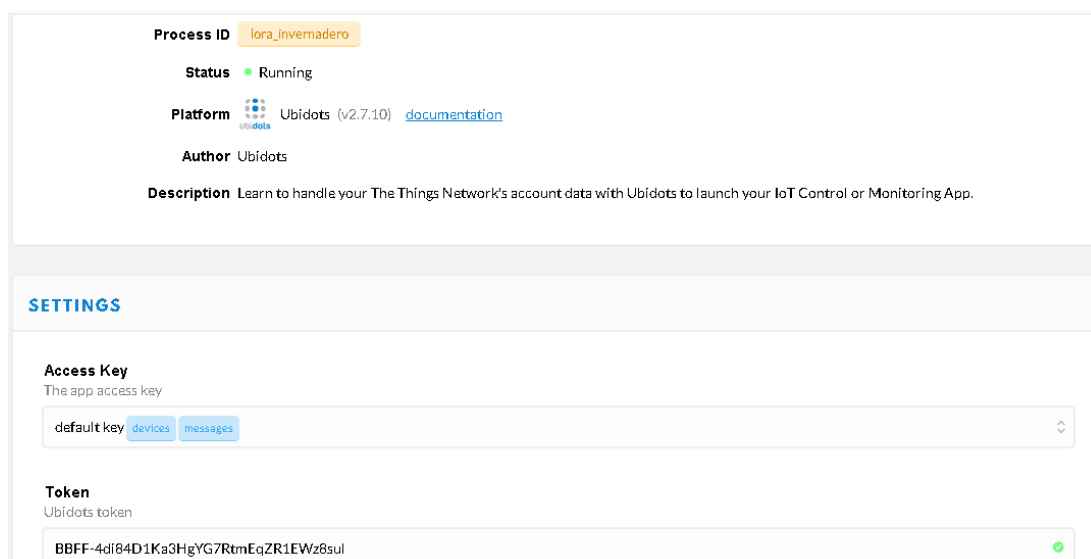
| NAME | TOKENS | RATE LIMIT | ACTIONS   |
|------|--------|------------|---|
| LoRa | .....  | 4 req/1s   |   |

ROWS PER PAGE 10 < >

Fuente: Ubidots

Este Token debe ser ingresado en TTN, para realizar la integración de las dos plataformas como se observa en la figura 3-14.

Figura 3-15 Token de Ubidots en el servidor de TTN



**Process ID** lora\_invernadero

**Status** Running

**Platform** Ubidots (v2.7.10) [documentation](#)

**Author** Ubidots

**Description** Learn to handle your The Things Network's account data with Ubidots to launch your IoT Control or Monitoring App.

---

**SETTINGS**

**Access Key**  
The app access key  
default key [devices](#) [messages](#)

**Token**  
Ubidots token  
BBFF-4di84D1Ka3HgYG7RtmEqZR1EWz8sul

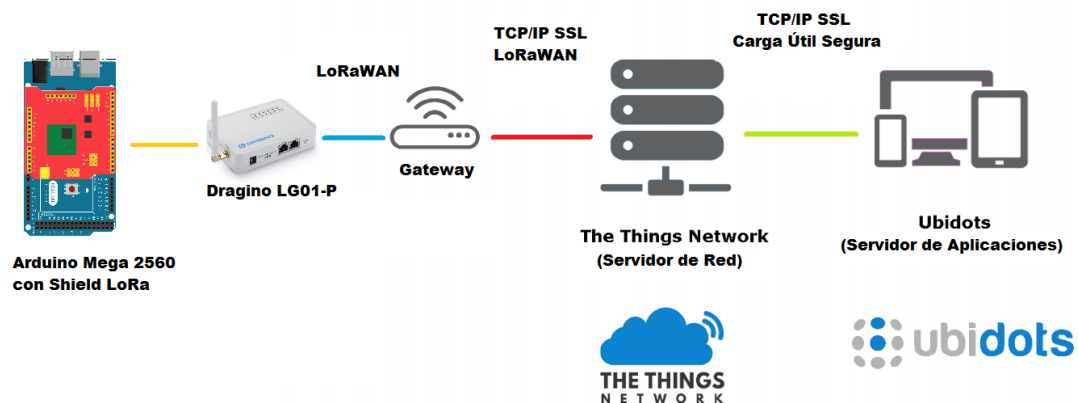
Fuente: TTN

Para finalizar con la configuración es necesario decodificar los datos que son enviados por los nodos LoRa, lo cuales vienen en formato hexadecimal, con la integración de las dos plataformas, y con la creación de variables en TTN, se puede visualizar las mismas variables en Ubidots.

### 3.7 Topología total de la red del prototipo

Para la obtención y emisión de los parámetros adquiridos por la red de sensores, se hizo uso de un Arduino Mega ATMEGA2560, que en conjunto con el módulo de Dragino, se encarga del envío de los datos al LoRa Gateway LG01, que, con una conexión a Internet mediante WiFi, sube los datos al servidor TTN para luego ser proyectados en el servidor Ubidots, esta topología se observa en la figura 3-16.

Figura 3-17 Topología total del prototipo



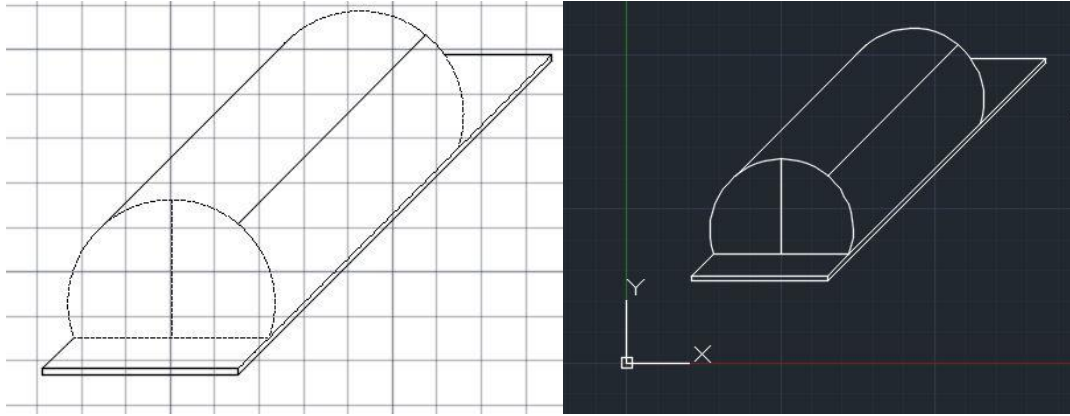
Elaborado por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

### 3.8 Planos del prototipo

#### 3.8.1 Perspectiva Isométrica

Con la figura 3-11 se aprecia la perspectiva isométrica del invernadero que consta de un tanque de reservorio de agua principal y uno secundario para simular la conexión a la red de agua potable, estos tanques serán manipulados por 2 bombas una para llenado y otra para el riego, en el tanque principal se determinará si se activa la bomba para el llenado.

Figura 3-18 Vista Isométrica del prototipo



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

### 3.9 Diseño de radio enlace

#### 3.9.1 Modelo de Okumura-Hata

Okumura como resultado de su trabajo obtuvo una serie de curvas que aportan con el nivel de atenuación media relativa al espacio libre, en función de la banda de frecuencias VHF-UHF entre 150 MHz – 1500MHz, distancia entre 1km - 20 km, altura de la antena de transmisión de entre 30m - 1000m, altura del receptor entre 1m - 10 m (Rappaport, 2002), y adicional varios factores de corrección específicos para distintos tipos de trayectos. Con la idea principal de aplicar este método de manera más fácil Hata estableció mediante series numéricas una descripción del modelo de Okumura, estas expresiones se las conoce por el modelo de Okumura-Hata (O-H) (Goldsmith, 2005).

La ecuación general del modelo de O-H en entornos urbanos:

$$L_{O-H} = A + B \log(d_{km}) \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$A = 69.55 + 26.16 \log(f_{c(MHz)}) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(h_b) \quad \text{Ec. 3.3}$$

Donde  $C = 0$  para un área metropolitana, y ciudad mediana o pequeña.

Para entornos suburbanos:

$$C = -2 \left[ \log \left( \frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad \text{Ec. 3.4}$$

Y para entornos rurales:

$$C = -4.78[\log(f_c)]^2 + 18.33 \log(f_c) - 40.98 \quad \text{Ec. 3.5}$$

Donde:

$f_c$ : Frecuencia en MHz.

$h_b$ : Altura efectiva de la antena transmisora en metros.

$h_m$ : Altura efectiva de la antena receptora en metros.

Este modelo recibe un factor de corrección para la altura del receptor  $a(h_m)$ , el cual dependerá del entorno que se encuentra el enlace. Para ciudades grandes se define en dos ecuaciones:

$$a(hm) = (8.29 \log(1.54 hm))^2 - 1.1 ; 150 \text{ Mhz} \leq fc \leq 200 \text{ MHz} ; C = 0 \quad \text{Ec. 3.6}$$

$$a(hm) = (3.2 \log(11.75 hm))^2 - 4.97 ; 200 \text{ Mhz} \leq fc \leq 1500 \text{ MHz} ; C = 0 \quad \text{Ec. 3.7}$$

En ciudades pequeñas, medianas, ambientes suburbanos, y áreas rurales el factor es:

$$a(hm) = [(1.1 \log(fc) - 0.7)hm] - [(1.56 \log(fc)) - 0.8]; \quad \text{Ec. 3.8}$$

### 3.9.2 Potencia de Recepción y margen adicional del enlace

Esta potencia se establece mediante la diferencia entre la potencia de transmisión y las pérdidas encontradas dentro del radioenlace, se adiciona las ganancias de las antenas porque amplifican la señal (Vera Medina & Zavala Soledispa, 2018).

$$P_r = P_t + G_{TX} + G_{RX} - L \quad \text{Ec. 3.9}$$

Dónde:

$P_t$ : Potencia de transmisión

$L$ : Pérdidas del sistema

$G_{TX}$ : Ganancia de antena transmisora

$G_{RX}$ : Ganancia de antena receptora

Para el cálculo del margen adicional del enlace, se toma la potencia de recepción ( $P_r$ ) y la sensibilidad de los dispositivos ( $S$ ) (Morales, 2012).

$$M = S - P_r \quad \text{Ec. 3.10}$$

## CAPÍTULO 4

### IMPLEMENTACIÓN DE LA RED IOT CON LORA

#### 4.1 Introducción

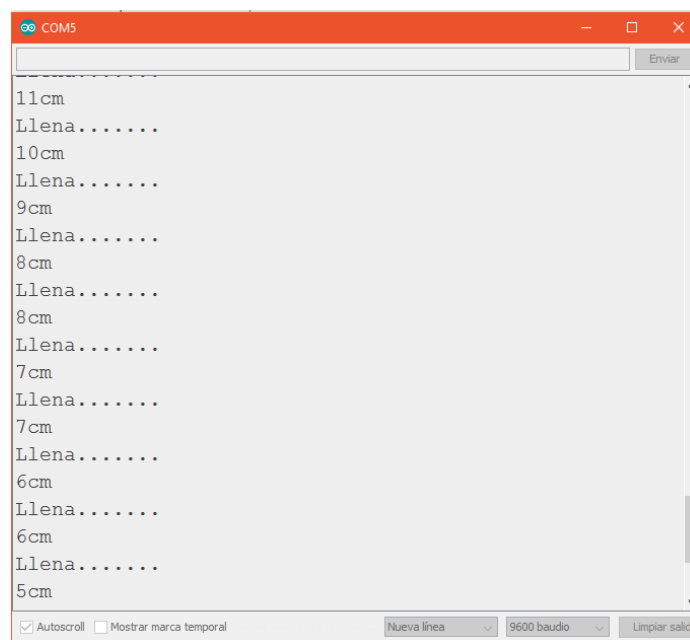
En este capítulo se realizará las pruebas de funcionamiento de cada uno de los elementos que constituyen parte del prototipo de invernadero, con el fin de verificar que toda la programación permite obtener los valores reales que arrojan los diferentes ámbitos a ser medidos.

#### 4.2 Funcionamiento del sensor ultrasónico HCSR04

A través de la programación del sensor HCSR04 se puede realizar la medición del nivel del agua del reservorio observado en la figura 4-1, y su implementación se visualiza en la figura 4-3, interpretando que si el nivel del agua supera los 5cm de distancia se debe activar la bomba para el llenado del tanque principal, simulando que adquiere agua de un pozo, río, o en su defecto la red de agua potable.

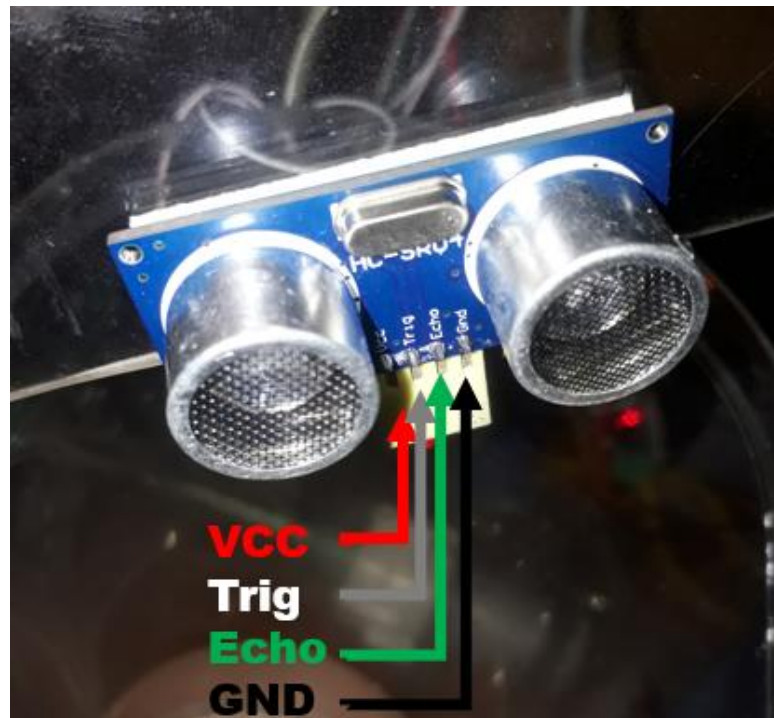
El sensor HCRS04 se muestra en la figura 4-1, se utiliza por su mejor precisión al momento de medir un objeto de forma completa, esta consideración es de importancia, debido a que, cuando el reservorio se está llenando se presentan perturbaciones que pueden afectar la medición, si esta es realizada en un punto fijo.

Figura 4-2 Funcionamiento del sensor ultrasónico HCRS04



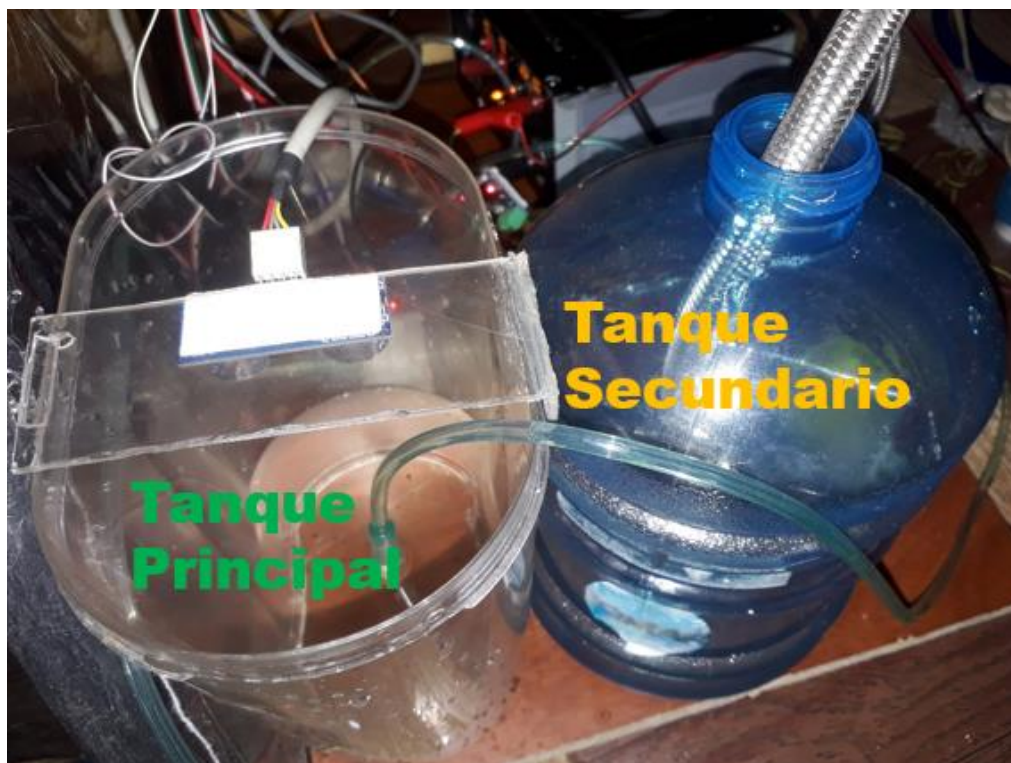
Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Figura 4-3 Conexión del sensor HCRS04



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Figura 4-4 Implementación del prototipo en el tanque principal



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

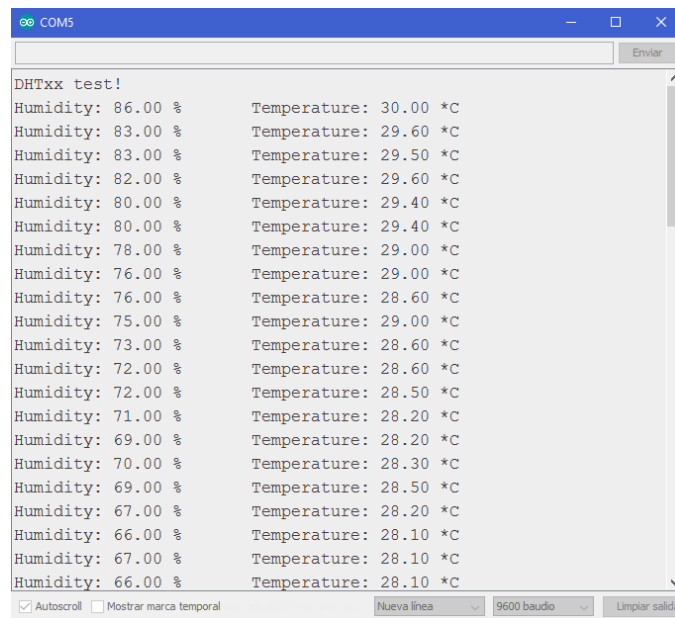


### 4.3 Funcionamiento del sensor DHT11

Mediante la programación del sensor DHT11, se visualiza en la figura 4-4 la toma de datos de humedad y temperatura.

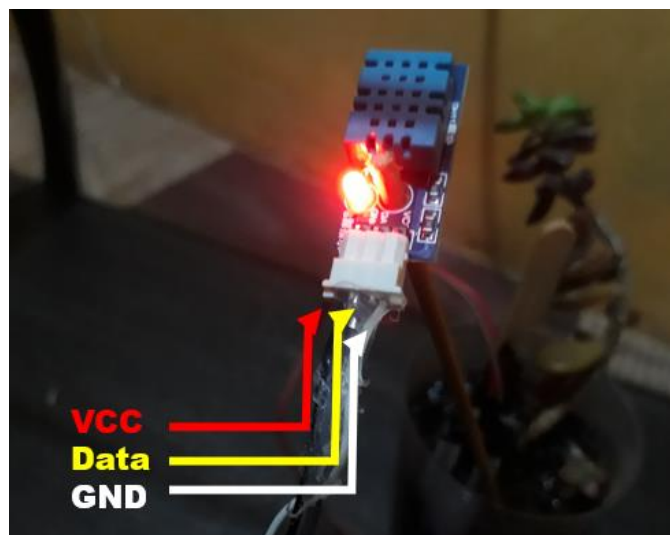
El sensor DHT11, de bajo costo y fácil adquisición, permite realizar mediciones de temperatura y humedad, con una sola salida digital que se integra a la placa de Arduino como se visualiza en la figura 4-5.

Figura 4-6 Funcionamiento del sensor DHT11



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Figura 4-7 Conexión e implementación del sensor DHT11 en el prototipo



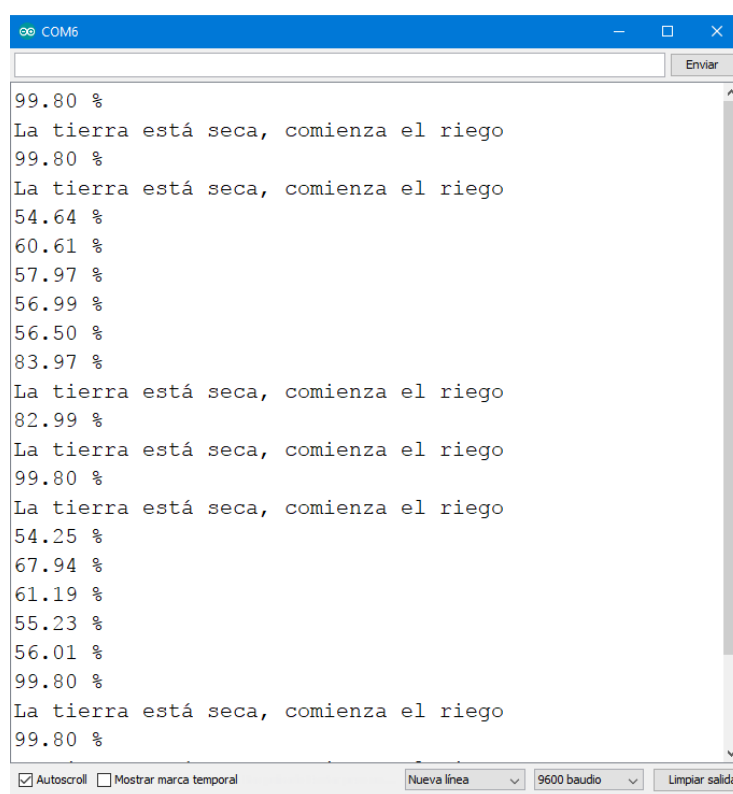
Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

#### 4.4 Funcionamiento del sensor FC-28

Con la programación del sensor FC-28 se puede medir la humedad del suelo. Mediante su conductividad se determinará en suelos secos valores de 70% a 100%, semi húmedos de 40% a 69%, y húmedos menos de 40%, permitiendo establecer puntos de activación del sistema de riego, como se observa en la figura 4-8.

El sensor FC-28 es utilizado debido a sus 2 electrodos resistivos, que son alojados en el suelo, facilitando el monitoreo de la humedad como se visualiza en la figura 4-9.

Figura 4-10 Funcionamiento del sensor FC-28



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Figura 4-11 Conexión e implementación del sensor FC-28 en el prototipo



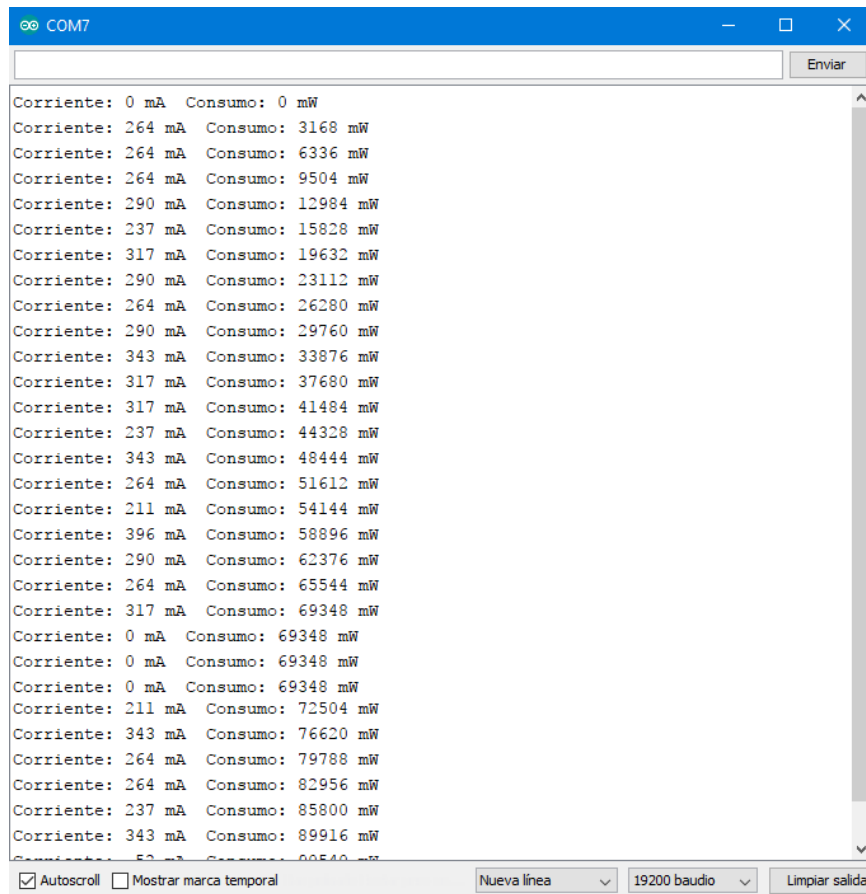
Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

#### 4.5 Funcionamiento del sensor ACS712

El sensor ACS712 permite medir la corriente del sistema implementado, se utilizará el modelo del sensor ACS712-30A. Para las medidas de corriente se tiene en cuenta que el sensor tiene un valor referencial de 2.5V para la corriente de 0A, esta relación es lineal por lo tanto la sensibilidad de esta corresponde a la pendiente entre el voltaje y la corriente. Por datos del fabricante el sensor ACS 712-30A tiene una sensibilidad que corresponde a 66mV/A. La obtención de datos se visualiza en la figura 4-12.

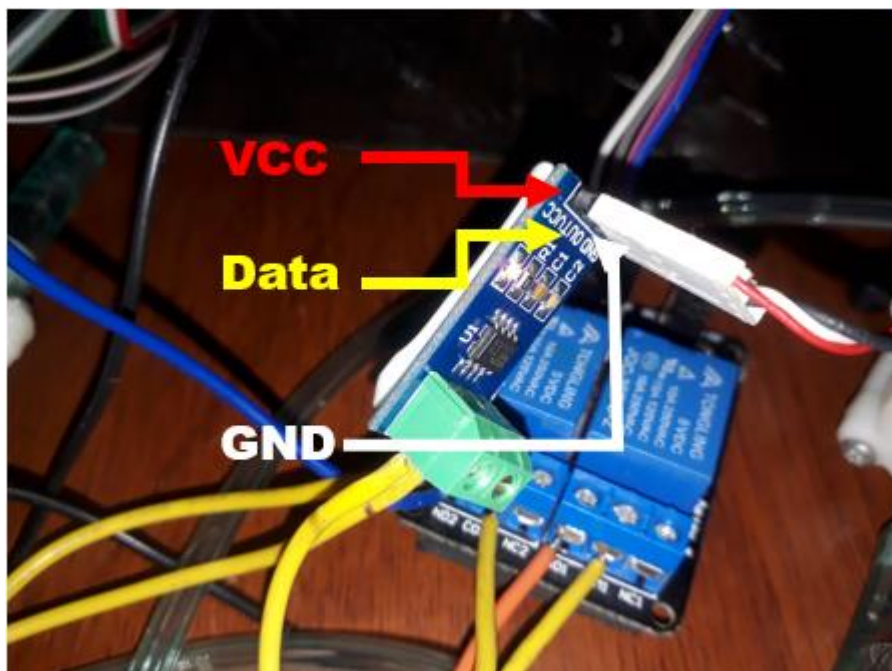
Con el sensor ACS 712-30A, se puede realizar mediciones de corriente de hasta de 30A con la fuente de alimentación 12V – 20A del prototipo, se puede realizar la toma de datos sin sobrepasar el límite de funcionamiento del sensor, la implementación del mencionado sensor se aprecia la figura 4-9.

Figura 4-13 Funcionamiento del sensor ACS712-30A



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Figura 4-14 Conexión e implementación del sensor ACS712-30A en el prototipo



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

#### 4.6 Funcionamiento del sensor YF-S201

Para obtener el consumo de agua el sensor que actúa es el YF-S201, está conectado entre el tanque principal y secundario como se visualiza en la figura 4-11. El uso de este sensor en el modelo YF-S201, es por su diseño de tubería de media pulgada, y el caudal que admite es de 1-30 L/min.

A partir del caudal medido por el sensor, se puede calcular el volumen de agua, ya que el caudal es la variación del volumen respecto al tiempo como se observa los datos recopilados en el testeo de la Figura 4-15.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Despejando

$$V = V_0 + Q\Delta t \quad \text{Ec. 4.2}$$

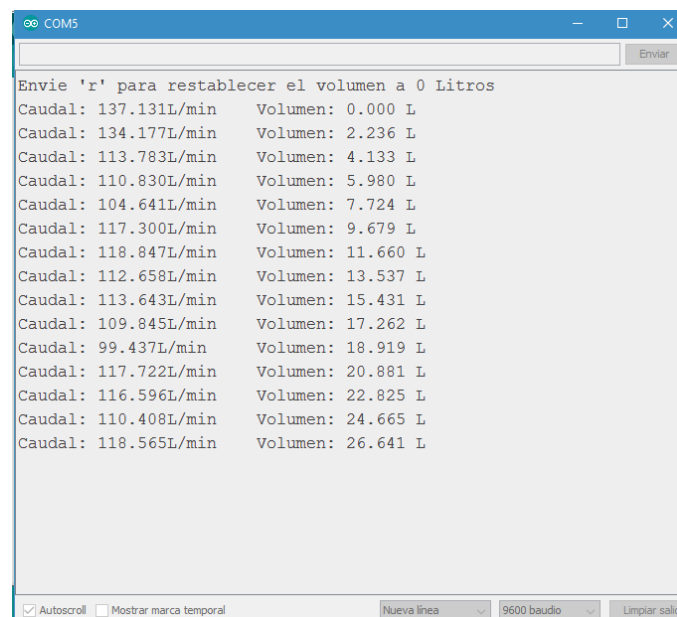
Dónde:

Q: Caudal

$\Delta V$ : Variación Volumen

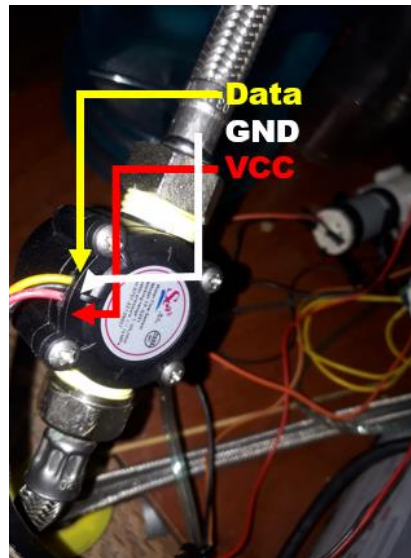
$\Delta t$ : Variación del tiempo

Figura 4-16 Testeo del Sensor YF-S201



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Figura 4-17 Conexión e implementación del sensor YF-S231 en el prototipo

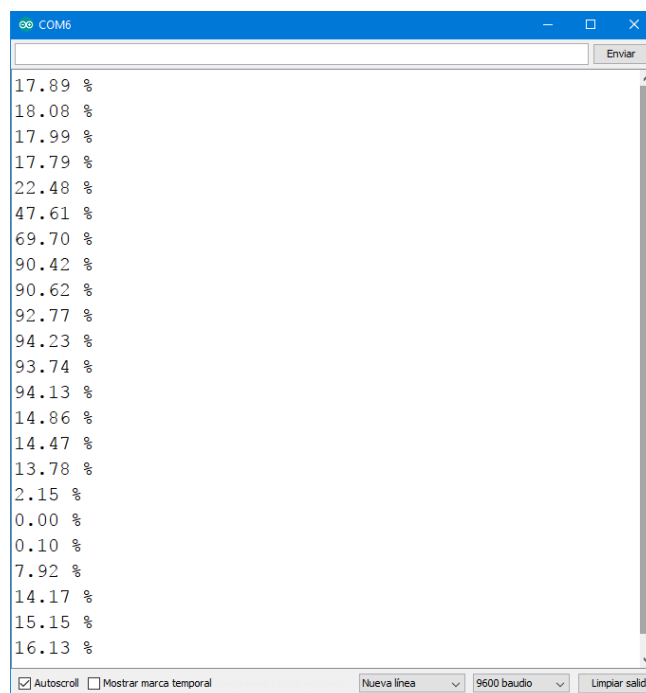


Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

#### 4.7 Funcionamiento de sensor fotorresistencia LDR

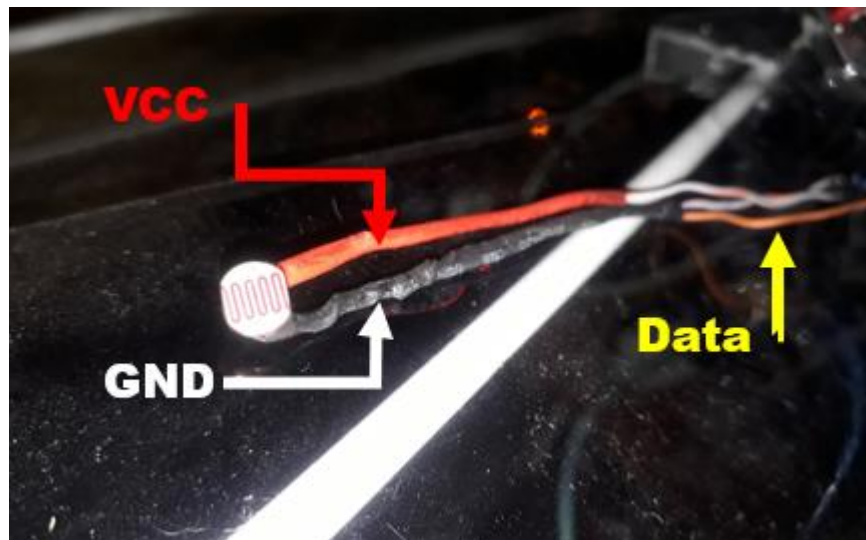
El fotorresistor LDR tiene la capacidad de percibir la luz, en conjunto con la programación de la placa de Arduino se puede saber el porcentaje de luminosidad en un punto dado, como se visualiza en la figura 4-12 y su respectiva implementación en la figura 4-13.

Figura 4-18 Funcionamiento del sensor fotorresistor



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Figura 4-19 Conexión e implementación del sensor fotorresistor en el prototipo



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

#### 4.8 Funcionamiento de la red LoRa

A través de una implementación base, se realizó el envío de las señales de prueba, para comprobar el funcionamiento del enlace LoRa, además se realizó la medición de un potenciómetro para comprobar el envío de datos a las plataformas de TTN y Ubidots, los cuales se observa en la figura 4-14 en el terminal del IDE de Arduino, en la figura 4-15 en la consola del servidor TTN y en la figura 4-16 en las gráficas históricas de Ubidots.

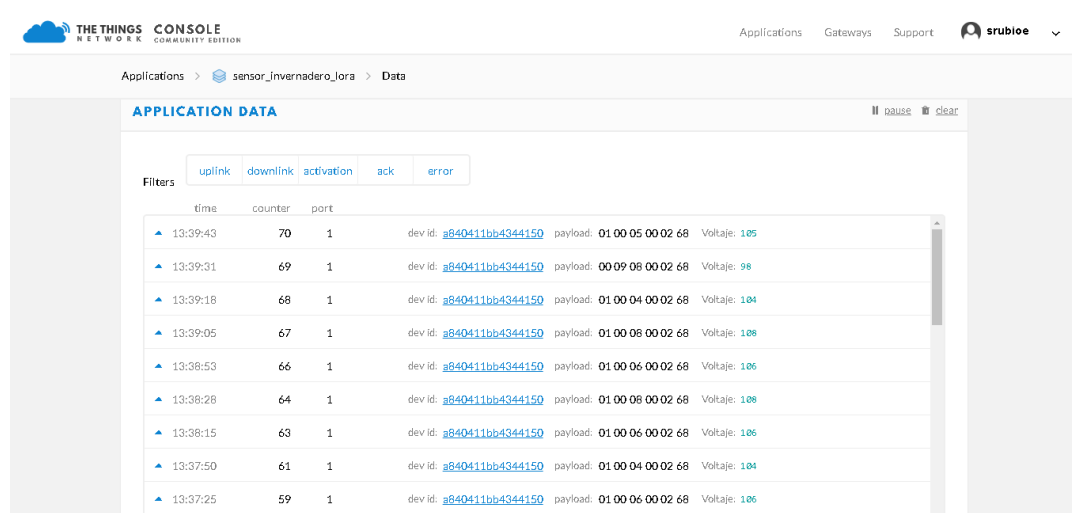
Figura 4-20 Registro de datos enviados en consola serial de Arduino

```
COM3
67307074: engineUpdate, opmode=0x900
output = 106
392
67932113: engineUpdate, opmode=0x908
67932535: TXMODE, freq=868100000, len=19, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
Packet queued
67988761: RXMODE_SINGLE, freq=868100000, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
68027549: RXMODE_SINGLE, freq=868250000, SF=9, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
68092362: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)
68092411: engineUpdate, opmode=0x900
output = 103
371
68717450: engineUpdate, opmode=0x908
68717872: TXMODE, freq=868100000, len=19, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
Packet queued
68774098: RXMODE_SINGLE, freq=868100000, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
68812886: RXMODE_SINGLE, freq=868250000, SF=9, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
68877700: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)
68877748: engineUpdate, opmode=0x900
output = 106
391
69502788: engineUpdate, opmode=0x908
69503210: TXMODE, freq=868100000, len=19, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
Packet queued
69559435: RXMODE_SINGLE, freq=868100000, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
69598223: RXMODE_SINGLE, freq=868250000, SF=9, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
69663037: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)
69663086: engineUpdate, opmode=0x900
output = 105
377
70288125: engineUpdate, opmode=0x908
70288547: TXMODE, freq=868100000, len=19, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
Packet queued
70344709: RXMODE_SINGLE, freq=868100000, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
70383497: RXMODE_SINGLE, freq=868250000, SF=9, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
70448373: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)
70448422: engineUpdate, opmode=0x900
```

Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

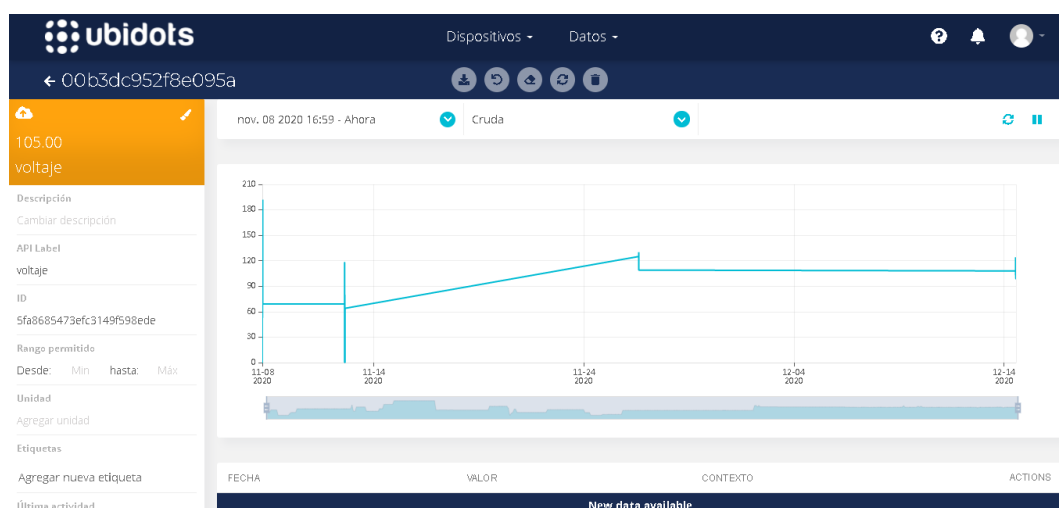


Figura 4-21 Recepción de datos enviados en TTN



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Figura 4-22 Recepción de datos enviados en “Ubidots”



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

## 4.9 Funcionamiento del radio enlace

Mediante la aplicación de las ecuaciones 3.1 hasta la ecuación 3.10, se puede obtener un cálculo teórico de las pérdidas obtenidas en el radio enlace, y a través de eso se consigue el margen entre la potencia de recepción (Rx) y la sensibilidad de -148dBm especificado en la tabla 3-2, y el capítulo 3.4.



Tabla 4-1 Cálculo del enlace en diferentes entornos.

| Entorno urbano               |         |         |         |         |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Distancia [km]               | 1       | 5       | 10      | 20      |
| Pérdidas Okumura – Hata [dB] | 127.31  | 137.91  | 162.54  | 173.14  |
| Potencia Rx [dBm]            | -101.31 | -111.92 | -136.54 | -147.14 |
| Margen [dB]                  | 46.69   | 36.08   | 11.46   | 0.86    |
| Entorno suburbano            |         |         |         |         |
| Pérdidas Okumura – Hata [dB] | 117.47  | 128.07  | 152.69  | 163.29  |
| Potencia Rx [dBm]            | -91.46  | -102.07 | -126.69 | -137.29 |
| Margen [dB]                  | 56.54   | 45.93   | 21.31   | 10.71   |
| Entorno rural                |         |         |         |         |
| Pérdidas Okumura – Hata [dB] | -8.31   | 2.29    | 26.91   | 37.51   |
| Potencia Rx [dBm]            | 34.31   | 23.71   | -0.91   | -11.51  |
| Margen [dB]                  | 182.31  | 171.71  | 147.09  | 136.49  |

Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Para la tabla 4-1 se puede observar que las pérdidas de Okumura – Hata aumentan con la distancia entre emisor y receptor, además también se ven afectadas por el entorno donde se establezca el radio enlace, dando lugar a una proporción inversa con el margen entre la potencia de recepción y la sensibilidad, donde al tener una mayor cantidad de pérdidas de Okumura – Hata, se obtiene un menor margen para las demás pérdidas de potencia que se puedan generar en el sistema.

Con los cálculos teóricos de la tabla 4-1, se realizaron las pruebas de funcionamiento dentro de una zona urbana, teniendo como resultados la tabla 4-2, en la que se detalla las distancias a las que fue probada la red LoRa, la cantidad de paquetes enviados, y perdidos.

Tabla 4-2 Registro de datos enviados en una zona urbana

| Distancia | Número de<br>paquetes<br>enviados | Número de<br>paquetes<br>perdidos |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 10m       | 43                                | 0                                 |
| 500m      | 43                                | 0                                 |
| 1km       | 43                                | 0                                 |
| 1.5km     | 43                                | 43                                |
| 2km       | 43                                | 43                                |

Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Con la tabla 4-2 se tiene un ejemplo de funcionamiento de la red LoRa en un entorno urbano, donde se ve reflejado que a una distancia mayor a 1km se pierden todos los paquetes enviados, demostrando que todas las pérdidas, de Okumura – Hata, cables, conectores, y por espacio libre, en conjunto con una baja ganancia en las antenas, producen que la potencia de recepción sea menor que la sensibilidad de los dispositivos, lo que no permite establecer el radio enlace.

## **CAPÍTULO 5**

### **RESULTADOS**

#### **5.1 Introducción**

En los capítulos preliminares se realizó los diseños y las pruebas de funcionamiento de todo lo que conlleva el prototipo de invernadero, en conjunto con la tecnología LoRa, y de esta manera poder gestionar el invernadero mediante el servidor TTN, y el servicio en la nube de Ubidots, todo esto de manera individual, en este capítulo se busca unir todo lo que conlleva el proyecto y analizar los resultados obtenidos.

#### **5.2 Resultado final del prototipo de invernadero**

En la figura 5-1, se puede visualizar el prototipo de invernadero realizado en este proyecto, posee todos los elementos necesarios para realizar las mediciones establecidas en los objetivos, como son: sensor de humedad de tierra, sensor de luminosidad, sensor de temperatura y humedad del ambiente, sensor de corriente para obtener el consumo eléctrico, sensor de caudal para obtener el consumo de agua. Y mediante la tecnología de LoRa, realizar el envío de datos para posteriormente ser visualizado de manera gráfica en una aplicación en la Internet.

Figura 5-1 Resultado final del prototipo

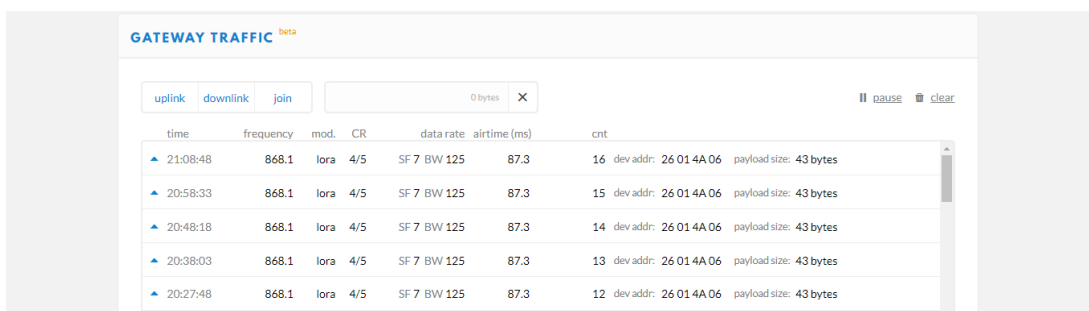


Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

### 5.3 Recepción de datos en el servidor TTN

Para comprobar el funcionamiento del prototipo en conjunto con la red LoRa se realizó un análisis de recepción de paquete recibidos en el servidor TTN, mediante este análisis se puede saber qué porcentaje de paquetes han sido recibidos, y cuantos se han perdido como se aprecia en la figura 5-2.

Figura 5-3 Registro de datos del nodo cliente en el Gateway LG01



The screenshot shows the 'GATEWAY TRAFFIC' interface for Gateway LG01. It features a table with columns: time, frequency, mod., CR, data rate, airtime (ms), and cnt. The table lists five data packets received at 21:08:48, 20:58:33, 20:48:18, 20:38:03, and 20:27:48. Each packet has a frequency of 868.1, modulation of lora, CR of 4/5, data rate of SF 7 BW 125, airtime of 87.3 ms, and a count of 16, 15, 14, 13, and 12 respectively. The payload size for all packets is 43 bytes.

| time     | frequency | mod. | CR  | data rate   | airtime (ms) | cnt |
|----------|-----------|------|-----|-------------|--------------|-----|
| 21:08:48 | 868.1     | lora | 4/5 | SF 7 BW 125 | 87.3         | 16  |
| 20:58:33 | 868.1     | lora | 4/5 | SF 7 BW 125 | 87.3         | 15  |
| 20:48:18 | 868.1     | lora | 4/5 | SF 7 BW 125 | 87.3         | 14  |
| 20:38:03 | 868.1     | lora | 4/5 | SF 7 BW 125 | 87.3         | 13  |
| 20:27:48 | 868.1     | lora | 4/5 | SF 7 BW 125 | 87.3         | 12  |

Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

En la tabla 5-1 se detalla el porcentaje de paquetes recibidos que fue obtenido mediante el monitoreo de los bytes enviados desde el nodo cliente hasta el servidor TTN, esto con un tiempo entre paquetes enviados de 10 minutos aproximadamente.

Tabla 5-1 Registro de datos del nodo cliente

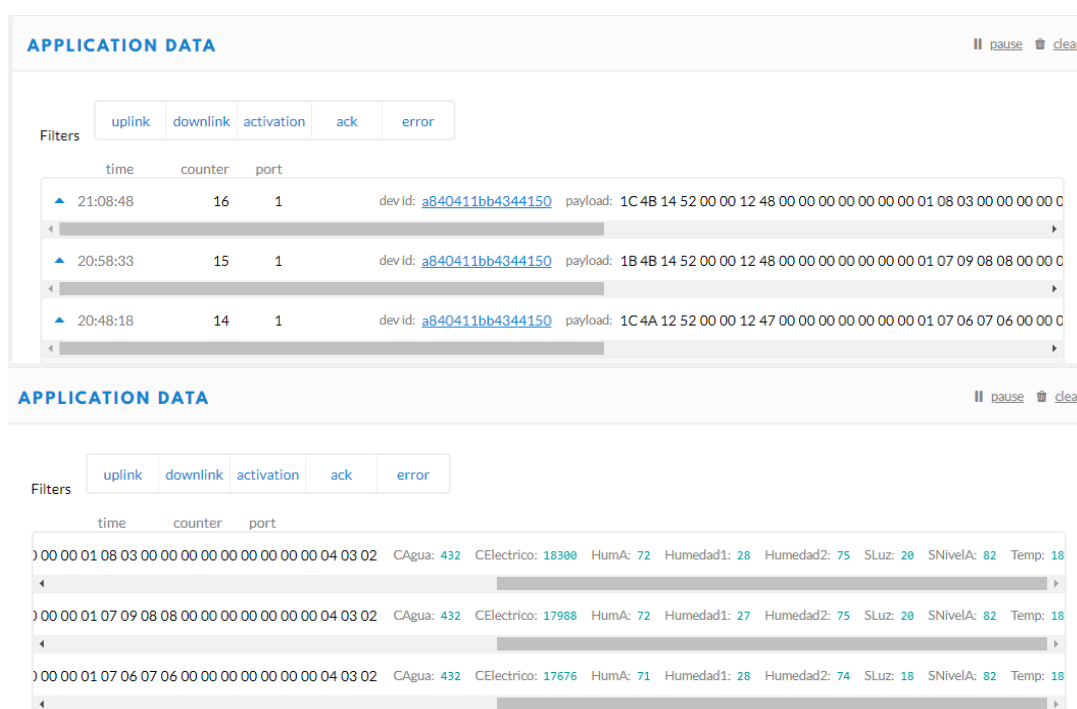
| Muestra                          | Número de paquetes enviados | Tiempo de transmisión entre paquetes | Paquetes perdidos |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 1                                | 43                          | 10 minutos                           | 0                 |
| 2                                | 43                          | 10 minutos                           | 0                 |
| 3                                | 43                          | 10 minutos                           | 0                 |
| 4                                | 43                          | 10 minutos                           | 0                 |
| 5                                | 43                          | 10 minutos                           | 0                 |
| Porcentaje de paquetes recibidos |                             |                                      | 100%              |

Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

## 5.4 Recepción de datos del prototipo de invernadero en TTN

Establecida la comunicación de la red LoRa y con el registro del Gateway a los servidores de TTN se puede observar en la figura 4-15, como se realiza el registro de todos los datos que forman parte del prototipo de invernadero. Esto se realiza mediante programación en la placa de Arduino, lo que se hace es tomar cada valor obtenido desde los sensores y enviarlo por un bus de datos que viaja por la red LoRa hasta el servidor TTN, donde son decodificados y colocados en diferentes variables.

Figura 5-4 Recepción de datos del prototipo en TTN



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

## 5.5 Visualización de datos recibidos en TTN con el servicio en la nube de Ubidots

Mediante la recepción de los paquetes visto en el capítulo 5.4 y la figura 5-2, y la integración entre TTN y Ubidots mostrada en la figura 4-16, se puede visualizar cada uno de los datos enviados en una gráfica histórica, de un tiempo aproximado de 2 horas, con un tiempo de envío entre paquetes de aproximadamente 10 minutos.

La figura 5-4 es una muestra del funcionamiento del medidor de consumo de agua, el cual tiene como unidad los mililitros, estos valores son obtenidos por el sensor YF-S201 los cuales se acumulan dentro de una variable del Arduino, para posteriormente ser enviados al servidor de TTN, y visualizados en Ubidots.

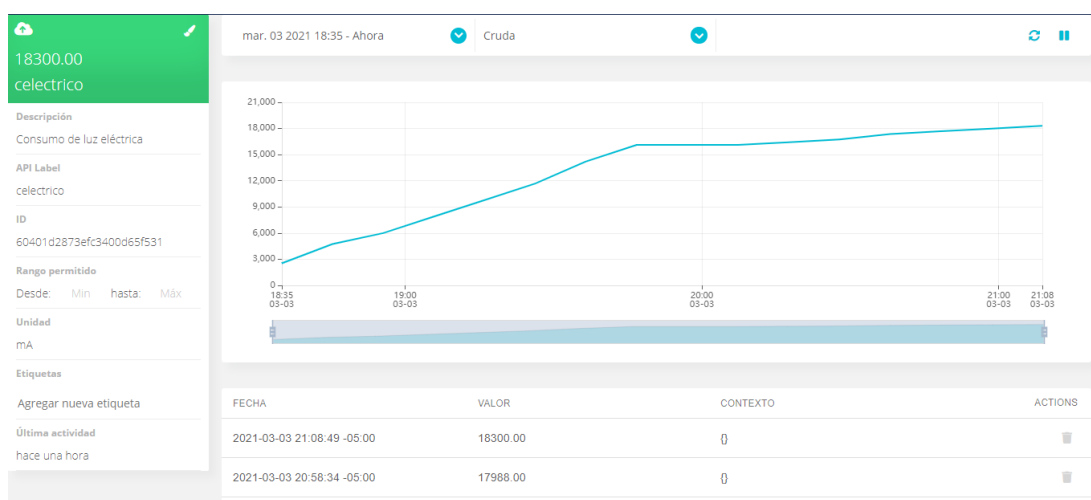
Figura 5-5 Gráfica histórica del consumo de agua



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

La figura 5-5 es una gráfica del consumo de luz eléctrica medida en miliamperios, se puede observar que el consumo mantiene su crecimiento, esto se debe a que aun cuando el nodo no está transmitiendo los datos, todo el circuito mantiene su funcionamiento, con lo cual las mediciones tomadas por el sensor ACS712-30A se siguen acumulando, hasta el momento del envío de los datos.

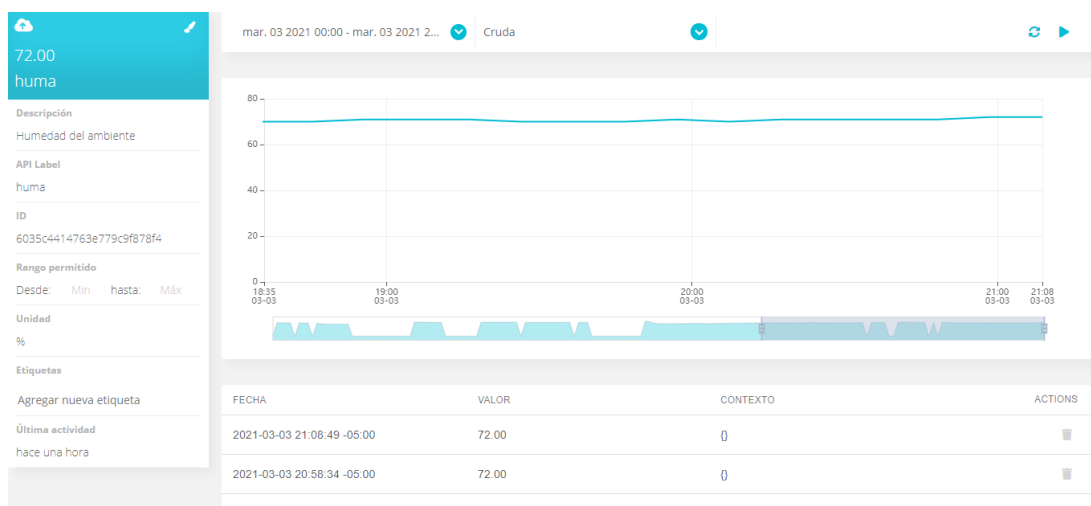
Figura 5-6 Gráfica histórica del consumo de luz eléctrica



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Con la figura 5-6 se visualiza los datos de humedad del ambiente obtenidos desde la plataforma de Ubidots, esta medición se mantiene en un nivel constante, esto se debe a que el prototipo se encontraba en un ambiente cerrado.

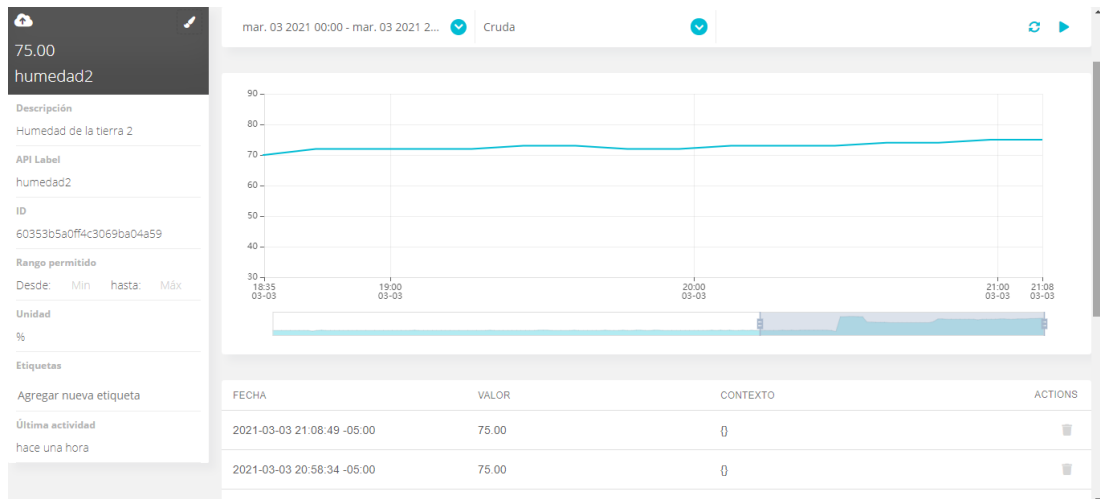
Figura 5-7 Gráfica histórica de la humedad del ambiente



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Para la figura 5-7 se tiene los datos del sensor de la humedad del suelo, el prototipo contempla que tras cierto nivel de resequead del suelo se activa el sistema de riego, intentando mantener la humedad en un valor casi constante.

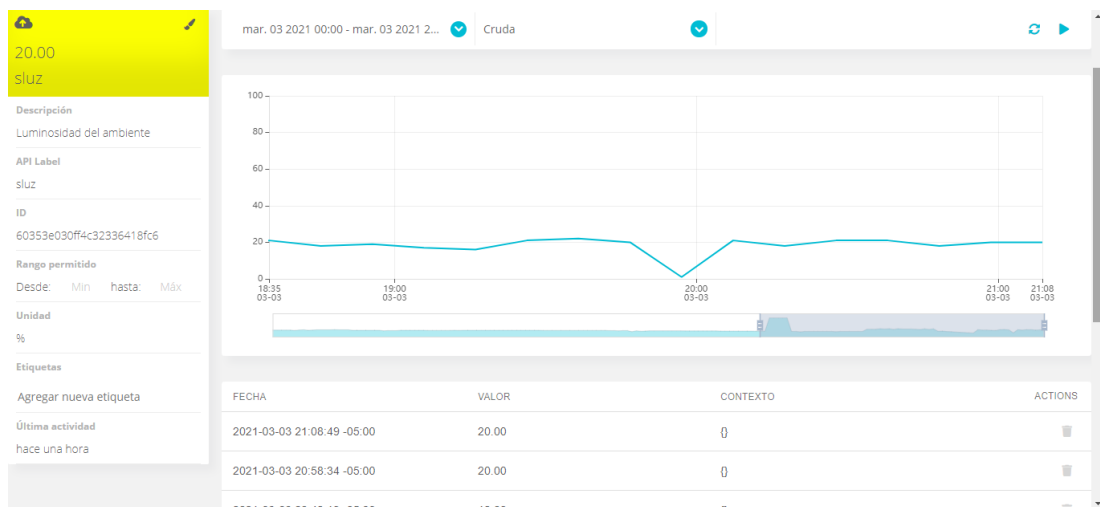
Figura 5-8 Gráfica histórica de la humedad de la tierra



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

En la figura 5-8 se aprecia la gráfica de los datos obtenidos de la luminosidad, medida que es percibida en porcentaje, de esta manera se puede establecer que tan nublado o luminoso se encuentra el ambiente.

Figura 5-9 Gráfica histórica de la luminosidad del ambiente



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago



La apreciación de la figura 5-9 muestra el nivel de agua del reservorio, esto mediante las mediciones del sensor Sharp, el prototipo mantiene un estado en el cual a pesar del uso del sistema de riego este no quede desabastecido o desbordado, como se puede observar en la gráfica obtenida desde Ubidots, el nivel de agua se intenta mantener en un 80% una vez que se encuentran encendido.

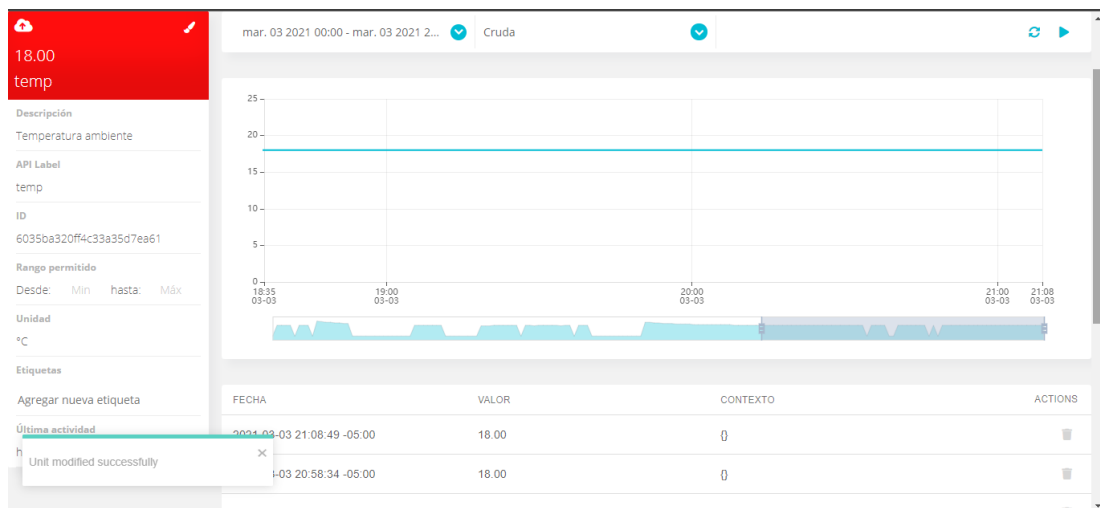
Figura 5-10 Gráfica histórica del nivel del agua del reservorio



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

Con la figura 5-10 se visualizará la temperatura del ambiente, tomada dentro del prototipo, está magnitud física que evalúa el frio y calor asociando como bajas y altas temperaturas respectivamente, se estableció en grados centígrados, los valores son recolectados por el sensor DHT11, hasta su envío a Ubidots.

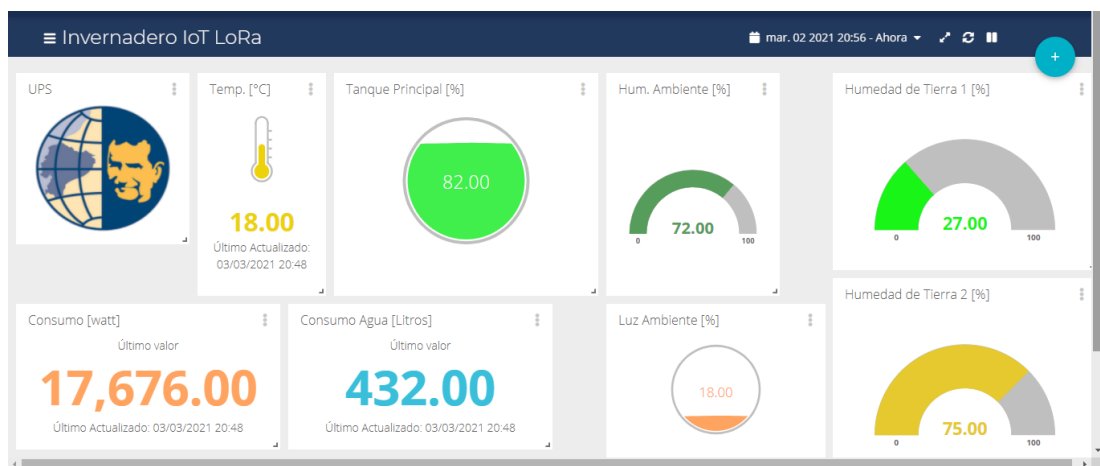
Figura 5-11 Gráfica histórica de la temperatura del ambiente



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

A parte de las gráficas históricas, Ubidots permite el uso de un tablero con widgets, que son pequeños iconos con los últimos datos enviados, lo que evita que el usuario ingrese a las gráficas históricas, y pueda ver los datos más actualizados.

Figura 5-12 Tablero de Widgets en Ubidots



Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

## 5.6 Dato de costos del prototipo

Mediante la tabla 5-2. se muestra los gastos para la obtención de los equipos, y materiales necesarios para el prototipo de la red IoT con LoRa. Cabe destacar que no se encuentra incluidos los costos por ingeniería ni mano de obra.

Tabla 5-2 Costos del prototipo

| Cant. | Descripción                                     | V. Unitario | V. Total |
|-------|---|-------------|----------|
| 1     | Gateway LG-01                                   | 116,72      | 116,72   |
| 2     | Sensor Humedad de suelo                         | 2,25        | 4,50     |
| 1     | DHT11   | 2,25        | 2,25     |
| 1     | Sensor de Flujo Caudal YF-S201                  | 6,75        | 6,75     |
| 1     | Modulo 2 Relé                                   | 3,00        | 3,00     |
| 1     | Sensor Ultrasónico HCSR 04                      | 2,25        | 2,25     |
| 1     | Sensor de Corriente                             | 4,50        | 4,50     |
| 1     | Shield LoRa Arduino                             | 38,00       | 38,00    |
| 2     | Mini Bomba de Agua 6-12V                        | 10,00       | 20,00    |
| 1     | Plástico  | 2,00        | 2,00     |
| 2     | Maguera delgada                                 | 1,80        | 3,60     |
| 2     | Manguera 1/2" 0,30m                             | 3,00        | 6,00     |
| 1     | Fuente ATX12v p4 400w                           | 20,00       | 20,00    |
| 2     | Tanques plásticos                               | 2,00        | 4,00     |
| 1     | Arduino Mega 2560                               | 15,50       | 15,50    |
| 10    | Cable flexible                                  | 1,20        | 12,00    |
| 1     | Implementación de TTN                           | 0,00        | 0,00     |
| 1     | Desarrollo de programación en Arduino y Gateway | 0,00        | 0,00     |
| 1     | Implementación del Prototipo                    | 0,00        | 0,00     |
|       |   | Total       | 261,07   |

Elaborador por: Cevallos Leonel & Rubio Santiago

## CONCLUSIONES

Se desarrolló una completa integración de IoT con tecnología LoRa dentro de un prototipo de invernadero, que cumple con la adquisición de datos como son: temperatura del ambiente, humedad de la tierra, luminosidad, nivel de agua de reservorios, consumo de luz eléctrica, y consumo de agua, garantizando una gestión a distancia, mediante la plataforma de Ubidots, la cual permite acceder a la información de las variables involucradas, mediante cualquier dispositivo que posea conexión a Internet.

Mediante la recopilación y el estudio de diferentes investigaciones sobre las redes LPWAN se logró obtener las tablas 2-2, 2-3, 2-4, y 2-5 que permiten comparar las características técnicas, factores relevantes de QoS, rendimiento de latencia, escalabilidad, despliegue, costos referentes al espectro radioeléctrico, y costo de los dispositivos implicados, lo cual demuestra que para la gestión de invernaderos a distancia, LoRa es la mejor opción, debido a que sus características técnicas son suficientes para esta aplicación, y es de bajo costo, por tanto no se requiere de gran inversión.

A través de las pruebas desarrolladas dentro del capítulo 4, se estableció un sistema de adquisición de datos en tiempo real de un prototipo de invernadero, además se obtuvo los cálculos teóricos de las pérdidas con Okumura – Hata, lo que permite obtener un indicio de cómo se comportaría el radio enlace al aumentar la distancia en los diferentes entornos, existe un margen que permitiría mantener el enlace, siempre que las pérdidas por cables, conectores, y por espacio libre lo permitan, como se puede observar en la tabla 4-2 en un entorno urbano a una distancia mayor a 1km, el número de paquetes perdidos es del 100%, esto ocurre cuando las pérdidas antes mencionadas, superan el margen entre la potencia de recepción, y la sensibilidad de los dispositivos.

Los datos adquiridos mediante la placa Arduino, son enviados mediante el Shield de LoRa, al Gateway LG01 que enlaza los datos recibidos al servidor de TTN, el cual con una integración de la plataforma de IoT de Ubidots, muestra los resultados obtenidos en diferentes opciones como son las gráficas históricas mostradas dentro del capítulo 5, o también en un tablero donde se puede visualizar el último dato recibido por medio

de un widget, como se ve en la figura 5-11, las cuales pueden ser vistas desde cualquier dispositivo conectado a Internet.

De acuerdo con el análisis económico se determina la red IoT con tecnología LoRa, un proyecto viable debido a que el valor de inversión es inferior a \$300 como se ve en la tabla 5-2, el cual es un valor que no representa un inversión costosa, en caso de ser implementado por empresas o industrias, teniendo en cuenta que el espectro de radio enlace en LoRa dispone de una frecuencia libre como se aprecia en la tabla 2-4, y de igual manera evaluando el coste de los dispositivos con referencia a la tabla 2-5 LoRa es más accesible, de esta manera se certifica ser una propuesta innovadora, y de bajo costo, para la comunidad agrícola.

Al comprobar el funcionamiento de la solución planteada a través de un sistema de gestión IoT con tecnología LoRa, el envío de parámetros mediante la plataforma Ubidots, se realizan en tiempo real y según el periodo de tiempo que se requiera, para los ensayos se estableció que sea cada 10 minutos.

## **RECOMENDACIONES**

En consideración de que se realiza transmisión constante de los datos recolectados por los sensores, y el funcionamiento de los actuadores, se recomienda la implementación de un sistema secundario de alimentación dedicado para solventar el consumo de operación.

Al disponer una galería de widget, se recomienda utilizar las más apegadas al emblema de cada sensor y más acorde al valor a mostrar, para garantizar la comprensión del parámetro se utilizó gamas de colores como por ejemplo para la humedad de la tierra se optó por rojo para resequedad de la tierra, amarillo resequedad media, y verde humedad buena.

Debido a la constante emisión de datos y parámetros en los servidores se debe tomar en cuenta el periodo que se actualizará estos los valores medidos, debido a que la plataforma de Ubidots recibe cierta cantidad de datos por día, y de requerir más se debe cancelar un valor acorde a la cantidad de datos necesarios.

Las antenas utilizadas del Gateway y el Shield LoRa, fueron las proporcionadas por el fabricante el cual es Dragino, ofreciendo 3dBi de ganancia, si se requiere mayor alcance se recomienda utilizar o fabricar una antena con diseño más directivo sin olvidar la frecuencia aprobada para establecer el radio enlace de los dispositivos LoRa según la región continental.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aloys, A., Jiazi, Y., Thomas, C., & William Mark, T. (9 de Septiembre de 2016). A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. Palaiseau, Essonne, France. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466/htm>
- Buestán Vera, J. C. (Febrero de 2019). Desarrollo de una red IOT con tecnología LORA para detección de automóviles. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16897/1/UPS-ST003910.pdf>
- Carrión González, M. D. (Mayo de 2017). Desarrollo De Una Pasarela LORA y Evaluación De Prestaciones. Valencia, Valencia, España. Obtenido de <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/91597/CARRI%C3%93N%20-%20Desarrollo%20de%20una%20pasarela%20LORA%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20prestaciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CISCO. (9 de Marzo de 2020). *Cisco Annual Internet Report*. Obtenido de CISCO: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- de la Cámara, R. A. (Junio de 2019). Diseño de un sistema de monitorización remota de un depósito de agua mediante LoRa. Cataluña, Barcelona, España. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/97127/8/radriandTFM0619memoria.pdf>
- Dragino. (31 de Octubre de 2019). LG01-N Single Channel LoRa IoT Gateway. Shenzhen, China. Obtenido de <https://www.dragino.com/products/lora/item/143-lg01n.html>
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications*. Cambridge University Press.
- González Garcia, A. (11 de Junio de 2017). IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones. Barcelona, Catalunya, España. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/64286/3/agonzalezgarcia0TFM0617memoria.pdf>

- INEC. (2019). *Tecnologías de la información y comunicación*. Obtenido de INEC: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/TIC/2019/201912\\_Principales\\_resultados\\_Multiproposito\\_TIC.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2019/201912_Principales_resultados_Multiproposito_TIC.pdf)
- LoRa Alliance. (Noviembre de 2015). *LoRaWAN: What is it?* Obtenido de LoRa Alliance: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>
- Machado Gonzáles, M. L. (Enero de 2019). Estudio de NB-IoT y comparativa con otras tecnologías LPWAN. Barcelona, Cataluña, España. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/87205/6/mmachadogTFM0119memoria.pdf>
- Mahmood, Z. (2019). *The Internet of Things in the Industrial Sector*. Suiza: Springer Nature .
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2018). Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT. Francia. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8480255>
- Morales, J. I. (2012). Cálculo de Radio Enlace en la banda GSM-850 utilizando Modelo de Propagación Okumura-Hata. Argentina. Obtenido de [https://www.academia.edu/5051509/C%C3%A1lculo\\_de\\_Radio\\_Enlace\\_en\\_la\\_banda\\_GSM\\_850\\_utilizando\\_Modelo\\_de\\_Propagaci%C3%B3n\\_Okumura\\_Hata](https://www.academia.edu/5051509/C%C3%A1lculo_de_Radio_Enlace_en_la_banda_GSM_850_utilizando_Modelo_de_Propagaci%C3%B3n_Okumura_Hata)
- Moya Quimbita, M. A. (Abril de 2018). Evaluación de pasarela LoRa/LoRaWAN en entornos urbanos. Valencia, Valencia, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109791/Moya%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20pasarela%20LoRa/LoRaWAN%20en%20entornos%20urbanos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ortiz Sosa, M. G. (Febrero de 2020). Desarrollo de una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LORA para el monitoreo de un sistema. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18469/1/UPS%20-%20ST004461.pdf>



- Pinto Erazo, A. M. (2020). Desarrollo de una metodología de análisis de tecnologías de radio IoT, Para escenarios urbano y rural, por medio de modelos matemáticos. Ibarra, Imbabura, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10809/2/PG%20798%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Quiroga Montoya, E. A., Jaramillo Colorado, S. F., Campo Muñoz, W. Y., & Chanchí Golondrino, G. E. (25 de Mayo de 2016). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. Armenia, Quindío, Colombia. Obtenido de [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1646-98952017000400005](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1646-98952017000400005)
- Rappaport, T. (2002). *Wireless communication principles and practice*. Pearson.
- Romero Vélez, N. F. (2020). Desarrollo de prototipo de sistema de medición de variables ambientales para agricultura de precisión en áreas amplias utilizando la modulación LORA. Loja, Loja, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23238/1/Nelson%20Favian%20Romero%20v%C3%A9lez.pdf>
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (15 de Octubre de 2015). *La internet de las cosas - Una breve reseña*. Obtenido de Internet Society (ISOC): <https://www.internetsociety.org/es/resources/doc/2015/iot-overview>
- SEMTECH. (Noviembre de 2020). *LoRa: What is LoRa?* Obtenido de SEMTECH: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- Semtech Corporation. (Febrero de 2019). LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview. Obtenido de [https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa\\_and\\_LoRaWAN-A\\_Tech\\_Overview-Downloadable.pdf](https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf)
- Soto, M. G. (2016). *Interconexión de Redes Privadas y Redes Publicas*. Madrid: RA-MA.
- The Things Network. (Diciembre de 2020). *The Things Network LEARN*. Obtenido de The Things Network: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/>

- Véliz Briones, V. F., & Zambrano Cedeño, E. R. (2018). Zona rural y su nueva visión de la Educación Superior en Ecuador. *Revista Espacios*, 10. Obtenido de Espacios: <http://www.revistaespacios.com/a19v40n08/19400810.html>
- Vera Medina, L. A., & Zavala Soledispa, B. E. (2018). Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para las estaciones hidrometeorológicas. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Escuela Superior Politécnica DEL Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/132258/D-CD106675.pdf>
- Widianto, E. D., Pakpahan, M., Faizal, A. A., & Septiana, R. (2018). LoRa QoS Performance Analysis on Various Spreading Factor in Indonesia. Bandung, Java Occidental, Indonesia. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8605471/authors#authors>